Л. А. Ісачанкава
Ю. Д. Ляшчынскі

ФІЗІКА

Падручнік для 8 класа
агульнаадукацыйных устаноў
з беларускай мовай навучання

Пад рэдакцыяй *Л. А. Ісачанкавай*

Зацверджана
Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь

Мінск
«Народная асвета»
2010

УДК 53(075.3=161.3)
ББК 22.3я721
И85

Пераклад з рускай мовы *Н. Г. Ляўчук*

Рэцэнзенты:
кафедра агульнай фізікі і астраноміі Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П. М. Машэрава (кандыдат педагагічных навук, дацэнт, загадчык кафедры *І. В. Галуза*); настаўнік фізікі і астраноміі вышэйшай катэгорыі СШ № 184 г. Мінска *Л. І. Вашкевіч*

Ісачанкава, Л. А.
И85 Фізіка : падруч. для 8-га кл. агульнаадукац. устаноў з беларус. мовай навучання / Л. А. Ісачанкава, Ю. Д. Ляшчынскі ; пад рэд. Л. А. Ісачанкавай; пер. з рус. мовы Н. Г. Ляўчук. — Мінск : Нар. асвета, 2010. — 183 с. : іл.
ISBN 978-985-03-1330-0.

УДК 53(075.3=161.3)
ББК 22.3я721

ISBN 978-985-03-1330-0

Як працаваць з падручнікам

Матэрыял, прапанаваны ў падручніку, пазнаёміць вас з новымі фізічнымі з'явамі, паняццямі і велічынямі, з найбольш важнымі законамі прыроды і іх значэннем для навукі, тэхнікі і выкарыстання ў жыцці.

Аднак, каб рашаць практычныя задачы, граматна тлумачыць усё тое, што адбываецца ў навакольным свеце, недастаткова толькі пазнаёміцца з фізічнымі з'явамі і паняццямі. Неабходна зразумець і засвоіць сутнасць фізічных з'яў і паняццяў, асноўныя заканамернасці, якім яны падпарадкоўваюцца. Каб работа з падручнікам была больш плённай, мы хацелі б даць вам некалькі парад.

Прачытайце параграф спачатку бегла, каб зразумець сэнс прачытанага, а потым бярыцеся за яго вывучэнне грунтоўна. Не завучвайце на памяць тэкст параграфа. З асаблівай увагай адносьцеся да азначэнняў велічынь, формул, законаў. Яны ў тэксце пазначаны тлустым шрыфтам. Калі формула мае вывад, яго трэба самастойна ўзнавіць у сшытку.

У тэксце параграфа ёсць пытанні. Не пакідайце без адказу ніводнага з іх. Калі на якое-небудзь пытанне вы не змаглі адказаць, вярніцеся яшчэ раз да пачатку параграфа і ўважліва прачытайце тэкст, пасля чаго зноў паспрабуйце адказаць на пытанне. Не пакідайце без увагі нашу просьбу наконт прыкладаў, якія пацвярджаюць тую або іншую з'яву. Запішыце гэтыя прыклады ў сшытак.

Уважліва чытайце апісанні доследаў, пра якія расказваецца ў параграфе. Многія з іх можна паўтарыць дома. Зрабіце гэта, і вы значна лепш пачняце разумець матэрыял.

Сур'ёзна стаўцеся да галоўных вывадаў, што пададзены ў канцы параграфа. Карысна іх запісаць у сшытак і дапоўніць сваімі меркаваннямі, якія ў вас непазбежна ўзнікнуць, калі вы засвоілі вучэбны матэрыял.

У канцы параграфа для праверкі разумення матэрыялу прадугледжаны кантрольныя пытанні. Не забывайце аб гэтым і старайцеся даць адказ на кожнае з іх, нават калі для гэтага спатрэбіцца выкарыстаць дадатковую літаратуру.

Пасля вывучэння тэарэтычнага матэрыялу, адказаў на кантрольныя пытанні трэба рашыць задачы, якія прапаноўваюцца ў практыкаваннях. Задачы размешчаны па ступені нарастання складанасці, таму рэкамендуем пачынаць рашэнне з першых нумароў.

Найбольш складаныя задачы адзначаны знакам . Такім самым знакам адзначаны і найбольш складаныя кантрольныя пытанні. Калі ў вас

атрымалася рашыць усе задачы, значыць, матэрыял засвоены вамі дастаткова глыбока і вы можаце быць задаволены сваёй работай.

У некаторых параграфах дадатковы матэрыял, што адносіцца да дадзенай тэмы, надрукаваны дробным шрыфтам і можа быць вамі вывучаны па жаданні.

У стварэнні падручніка прымаў удзел вялікі калектыў спецыялістаў. На падручнік затрачана добрая папера і фарбы. Цаніце працу і стараннi ўсіх, хто ствараў падручнік, — беражыце яго!

Жадаем вам творчасці і натхнення ў рабоце!

Аўтары



1 Цеплавыя з’явы

Як хутчэй астудзіць гарачы чай?

Чаму зімой дзьме ад зачыненага акна?

Чаму лёд слізкі?

Ці заўсёды вада, што кіпіць, гарачая?



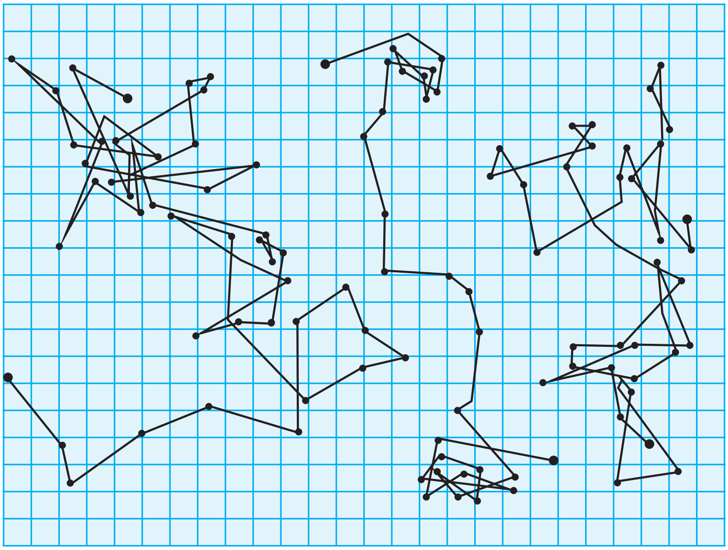
§ 1. Цеплавы рух часціц рэчыва

З хіміі і фізікі (6-ы клас) вы ўжо ведаеце, што ўсе рэчывы маюць дыскрэтную будову. Яны складаюцца з найдрабнейшых часціц: атамаў, малекул. Памеры часціц такія нязначныя, што ўбачыць іх нават з дапамогай вельмі моцных аптычных мікраскопаў не ўдаецца. Аднак, цэлы шэраг з'яў, што назіраюцца, пацвярджаюць дыскрэтную будову рэчыва, а таксама бесперапынны хаатычны рух часціц рэчыва. Да такіх з'яў адносіцца ўжо вядомая вам з'ява дыфузіі — самаадвольнае пранікненне аднаго рэчыва ў другое.

Самым пераканаўчым доказам дыскрэтнасці рэчыва і хаатычнага бесперапыннага руху яго часціц з'яўляецца *броўнаўскі рух*. У чым яго сутнасць?

Броўнаўскі рух уяўляе сабой хаатычны рух малых часцінак рэчыва (памеры часцінак 10^{-6} м і менш, што больш чым у 1000 разоў перавышае памеры малекул), завіслых у вадкасці або газе. Яго назіраў англійскі батанік Р о б е р т Б р о ў н у 1827 г. З дапамогай мікраскопа ён разглядаў рух часцінак кветкавага пылку ў вадзе. Кожная часцінка (яе называюць броўнаўскай) выконвала мудрагелісты зігзагападобны рух, які быў непадобны да руху другой броўнаўскай часцінкі.

На малюнку 1 паказана карціна руху трох броўнаўскіх часцінак, што назіралася ў мікраскоп. Кропкамі на малюнку адзначаны становішчы часцінак праз аднолькавыя прамежкі часу.



Мал. 1

Броўнаўскі рух можна назіраць і ў газе.

Як растлумачыць броўнаўскі рух?

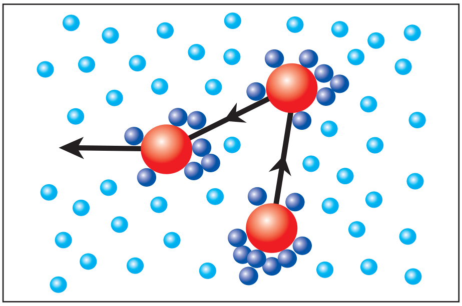
Гэта зрабіць лёгка, калі дапусціць:

1) вада (газ) складаецца з малекул;

2) малекулы вады (газу) знаходзяцца ў бесперапынным хаатычным руху;

3) малекулы, рухаючыся хаатычна, удараюцца аб броўнаўскую часцінку;

4) хаатычны рух малекул прыводзіць да таго, што лік і сіла ўдараў з розных бакоў аб броўнаўскую часцінку розныя (мал. 2). Часцінка ў кожны момант часу рухаецца ў напрамку дзеяння большай сумарнай сілы ўдараў аб яе малекул вады (газу).



Мал. 2

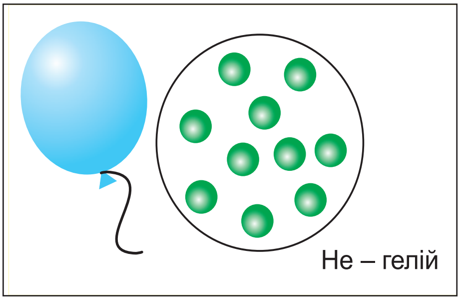
Цікава, што сам Р. Броўн не зразумеў прычыны руху часцінак пылку, а прыпісаў ім уласцівасці жывых істот.

Акрамя таго, было даказана, што скорасць руху броўнаўскай часцінкі тым большая, чым меншая яе маса і чым вышэйшая тэмпература вадкасці (газу). Аналагічным заканамернасцям падпарадкоўваецца рух малекул. Ён хаатычны. Скорасць руху малекул рэчыва тым большая, чым меншая іх маса і чым вышэйшая тэмпература рэчыва.

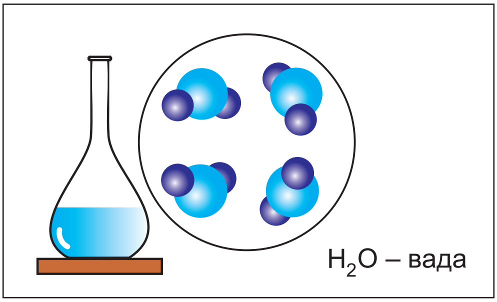
Такім чынам, броўнаўскі рух бясспрэчна даказаў факт таго, што рэчывы складаюцца з малекул (атамаў). І самае важнае, што малекулы (атамы) знаходзяцца ў бесперапынным хаатычным руху. Інтэнсіўнасць гэтага руху залежыць ад тэмпературы. Менавіта таму, як вам вядома, яго называюць *цеплавым*.

Якія ж асаблівасці цеплавога руху малекул газаў, вадкасцей і цвёрдых цел?

З фізікі 6-га класа вам вядома, што адлегласць паміж малекуламі ў газаў большая, чым у вадкасцей і цвёрдых цел. Сілы ж узаемадзеяння паміж малекуламі ў газаў пры нармальных умовах практычна роўны нулю. Малекулы рухаюцца свабодна да сутыкнення. Пры сутыкненні яны змяняюць напрамак скорасці і зноў рухаюцца свабодна. Таму **газы не захоўваюць ні формы, ні аб'ёму**, а займаюць усю адведзеную ім прастору (мал. 3).



Мал. 3



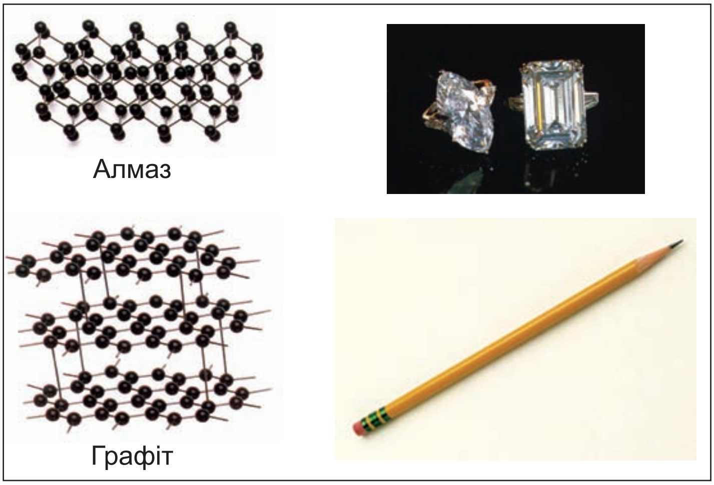
Мал. 4

Цеплавы ж рух малекул вадкасці іншы. Адлегласці паміж малекуламі вадкасці меншыя, чым у газах. Малекулы звязаны паміж сабой пераважна сіламі прыцяжэння. Яны выконваюць хаатычныя ваганні ў дадзеным становішчы, затым пераскокваюць у новае становішча і зноў вагаюцца, змяняючы сваю энергію, пасля чаго зноў пераскокваюць у другое становішча. Наяўнасць сіл прыцяжэння паміж малекуламі забяспечвае вадкасці захаванне аб'ёму, а пераскокі — цякучасць. Такім чынам, **вадкасць захоўвае аб'ём, але не захоўвае форму**. Яна прымае форму пасудзіны, у якую налітая (мал. 4).

У цвёрдых целах часціцы звязаны паміж сабой больш моцна, чым у вадкасцях. Іх цеплавы рух галоўным чынам зводзіцца да хаатычнага вагальнага руху каля становішчаў раўнавагі (мал. 5). Перамяшчэнні часціц па аб'ёме (г. зн. рухавасць часціц) у цвёрдым целе ў адрозненне ад вадкасцей і газаў занадта запаруджаны. Таму дыфузія ў цвёрдым целе адбываецца вельмі павольна. Вядомы дослед, у якім шчыльна прыціснутыя адна да адной свінцовая і залатая пласцінкі зрасліся, але на гэта спатрэбілася пяць гадоў.

Больш моцнае ўзаемадзеянне часціц і адсутнасць у іх рухавасці прыводзяць да таго, што **цвёрдыя целы захоўваюць і аб'ём, і форму**.

Пры награванні рэчыва ў любым яго стане — цвёрдым, вадкім, газападобным — скорасць цеплавога руху яго часціц павялічваецца.



Мал. 5

Галоўныя вывады

1. Сілы ўзаемадзеяння паміж часціцамі цвёрдага цела большыя, чым паміж часціцамі вадкасці. У газах пры нармальных умовах гэтыя сілы практычна роўны нулю.

2. Сілы ўзаемадзеяння часціц у рэчыве вызначаюць характар іх цеплавога руху і ўласцівасці газаў, вадкасцей і цвёрдых цел.

3. Цеплавы рух часціц у любым стане рэчыва з'яўляецца хаатычным, які ўзмацняецца пры награванні.

Кантрольныя пытанні

1. Што такое броўнаўскі рух і як ён тлумачыцца?
2. У чым значнасць доследу Р. Броўна?
3. Што можна сказаць пра сілы ўзаемадзеяння часціц у розных агрэгатных станах рэчыва?
4. Якія асаблівасці руху часціц (малекул, атамаў) у газах, вадкасцях і цвёрдых целах?
5. Чаму хаатычны рух часціц называюць цеплавым?

§ 2. Унутраная энергія

У 7-м класе вы пазнаёміліся з механічнай энергіяй: кінетычнай і патэнцыяльнай. Нагадаем, што кінетычнай называюць энергію, якой валодае цела з прычыны свайго руху. Яна залежыць ад яго масы і скорасці руху:

$$K = \frac{mv^2}{2}.$$

Патэнцыяльная энергія — гэта энергія, якая абумоўлена ўзаемным размяшчэннем цел або частак цела.

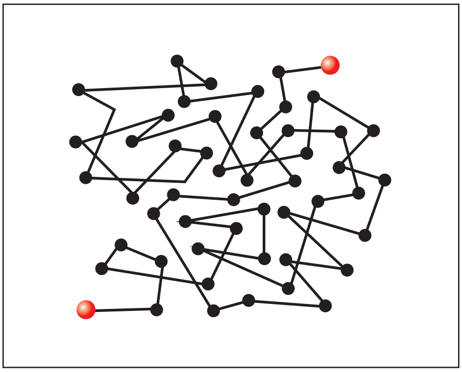
Карацей кажучы, кінетычную энергію можна вызначыць як энергію руху, а патэнцыяльную — як энергію ўзаемадзеяння.

Кінетычная і патэнцыяльная энергіі могуць пераўтварацца адна ў адну. А якую яшчэ энергію, акрамя механічнай, можа мець цела?



Мал. 6

Шайба, якая рухаецца па гарызантальным лёдзе (мал. 6), спынілася. Яна нерухо-



Мал. 7

мая ($v = 0$), не паднятая над узроўнем лёду і не дэфармавана. Ці абазначае гэта, што яе механічная энергія знікла бясследна?

Механічная энергія перайшла ва *ўнутраную энергію* шайбы і лёду. Што ж такое ўнутраная энергія? Нагадаем, што часціцы, з якіх складаецца рэчыва, бесперапынна хаатычна рухаюцца, напрыклад малекулы газу (мал. 7). А паколькі яны рухаюцца, значыць, валодаюць кінетычнай энергіяй.

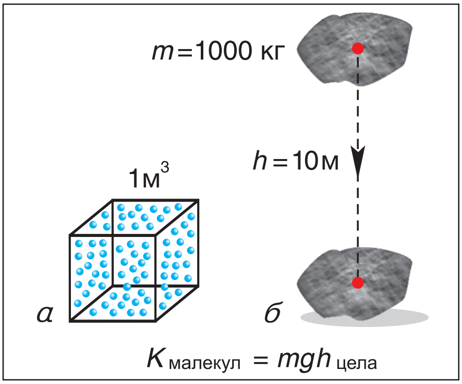
Паколькі часціцы могуць узаемадзейнічаць адна з адной (у вадкасцях і цвёрдых целах), то яны будуць валодаць і патэнцыяльнай энергіяй.

Кінетычная і патэнцыяльная энергія ўсіх часціц, з якіх складаецца цела, называецца ўнутранай энергіяй цела.

Унутраную энергію, як і механічную, вымяраюць у *джоўлях*. А ці можа ўнутраная энергія цела, як і механічная, быць роўнай нулю? Рух часціц, з якіх складаецца цела, не спыняецца нават пры самых нізкіх тэмпературах. Значыць, цела заўсёды (падкрэсліваем, заўсёды) валодае некаторым запасам унутранай энергіі. Яго можна або павялічыць, або паменшыць — і толькі!

А ці вялікае значэнне ўнутранай энергіі цела? Энергія адной часціцы, напрыклад кінетычная, з прычыны нязначнасці яе масы надзвычай малая. Разлікі для сярэдняй энергіі паступальнага руху малекулы кіслароду паказваюць, што яе значэнне пры пакаёвай тэмпературы наступнае:

$$\langle K_0 \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} \approx 3{,}7 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$



Мал. 8

Тут m_0 — маса малекулы кіслароду, а $\langle v \rangle$ — сярэдняя скорасць яе руху.

Зразумела ж, гэта вельмі малая велічыня. Цяпер знойдзем кінетычную энергію K усіх малекул газападобнага кіслароду, што знаходзіцца ў аб'ёме 1 м^3 (мал. 8, *а*). Іх лік $n \approx 2{,}7 \cdot 10^{25}$, тады $K = \langle K_0 \rangle n = 3{,}7 \cdot 10^{-21}$ Дж $\cdot\, 2{,}7 \cdot 10^{25} \approx 100$ кДж. Гэта значэнне энергіі ўжо вельмі значнае. Яно, напрыклад, роўна механічнай энергіі каменя масай $m = 1$ т, паднятага на вышыню $h = 10$ м (мал. 8, *б*).

Галоўныя вывады

1. Незалежна ад таго, ці ёсць у цела механічная энергія ці няма, яно валодае ўнутранай энергіяй.

2. Унутраная энергія цела вызначаецца рухам і ўзаемадзеяннем часціц, з якіх складаецца цела.

3. Унутраная энергія цела заўсёды не роўна нулю.

Кантрольныя пытанні

1. Што сабой уяўляе ўнутраная энергія цела?
2. Чым прынцыпова адрозніваюцца ўнутраныя энергіі цел, якія знаходзяцца ў цвёрдым, вадкім і газападобным станах?
3. Чаму ўнутраная энергія цела не можа быць роўнай нулю?
4. Ці можа механічная энергія ператварацца ва ўнутраную? Прывядзіце прыклады.

Практыкаванне 1

1. З якіх відаў энергіі складаецца ўнутраная энергія дадзенай масы паветра, калі яно знаходзіцца: а) у пакоі пры нармальным атмасферным ціску; б) у балоне ў вадкім стане?

2. Ці можа цела валодаць унутранай энергіяй і не мець пры гэтым механічную? А наадварот: мець механічную энергію, а ўнутраную — не мець? Прывядзіце прыклады.

3. Ці адрозніваюцца ўнутраныя энергіі вадзяной пары масай $m_1 = 5$ г, якая знаходзіцца пры атмасферным ціску, і вады такой самай масы? Чым? Тэмпература абодвух рэчываў аднолькавая.

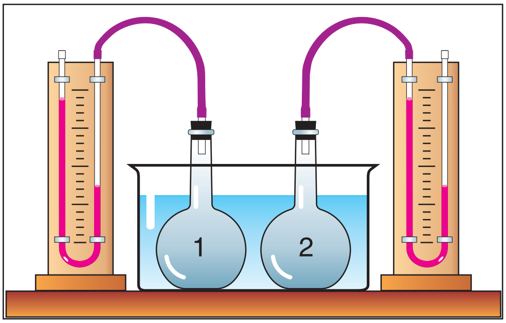
4. Як змяняюцца механічная і ўнутраная энергіі кавалка лёду, калі яго: а) раўнамерна падымаць уверх; б) кінуць у гарызантальным напрамку?

5. Ці будуць роўныя ўнутраныя энергіі бака бензіну і адной шклянкі бензіну з таго ж бака? Адказ аргументуйце.

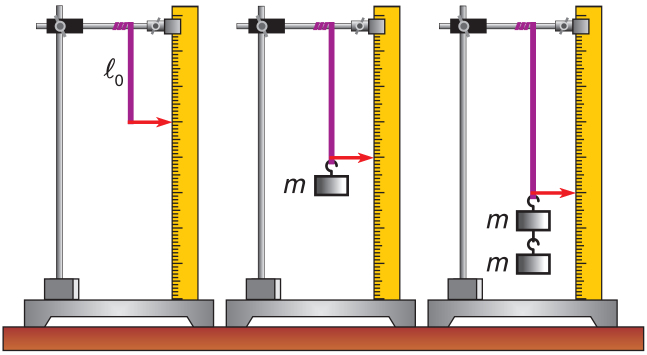
6. Ці зменіцца ўнутраная энергія паветра ў аўтамабільнай камеры, калі частка яго павольна выцеча? Чаму?



7. Ці аднолькавыя ўнутраныя энергіі паветра, якое запаўняе абедзве колбы *1* і *2*, злучаныя з манометрамі (мал. 9) і апушчаныя ў ваду? Чаму?



Мал. 9



Мал. 10

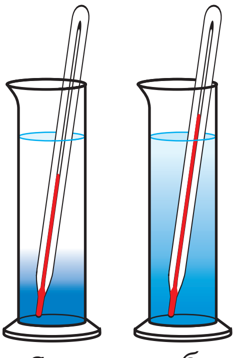


8. На малюнку 10 паказаны тры рызінавыя жгуты аднолькавай пачатковай даўжыні l_0. Параўнайце іх унутраныя энергіі.

§ 3. Спосабы змянення ўнутранай энергіі

Каб змяніць механічную энергію цела, трэба змяніць скорасць яго руху, узаемадзеянне з іншымі целамі або ўзаемадзеянне частак цела. Вы ўжо ведаеце, што гэта дасягаецца выкананнем работы.

Як можна змяніць (павялічыць або паменшыць) унутраную энергію цела? Разважаем паслядоўна. Унутраная энергія вызначаецца кінетычнай і патэнцыяльнай энергіяй часціц. Значыць, трэба змяніць або скорасць руху часціц, або іх узаемадзеянне (змяніць адлегласці паміж імі). Відавочна, можна змяніць і скорасць, і адлегласці паміж часціцамі адначасова.



Мал. 11

Змяніць скорасць часціц цела можна, павялічыўшы або паменшыўшы яго тэмпературу. Сапраўды, назіранні дыфузіі і броўнаўскага руху паказваюць, што хуткасць працякання гэтых працэсаў павялічваецца пры награванні (мал. 11). Значыць, павялічваецца скорасць руху малекул, і як вынік — іх сярэдняя кінетычная энергія.

Адсюль атрымліваем важны вывад: **мерай сярэдняй кінетычнай энергіі малекул з'яўляецца тэмпература**.

Як змяніць кінетычную энергію часціц цела? Існуюць два спосабы. Разгледзім іх на доследах.

Будзем націраць колбу з паветрам палоскай сукна. Праз некаторы час узровень вадкасці ў правым калене манометра (мал. 12) панізіцца, г. зн. ціск паветра ў колбе павялічыцца,

што сведчыць аб яго награванні. Значыць, павялічылася скорасць руху і кінетычная энергія яго малекул, а значыць, і ўнутраная энергія. Але за кошт чаго? Відавочна, за кошт выканання механічнай работы пры трэнні сукна аб паверхню колбы.

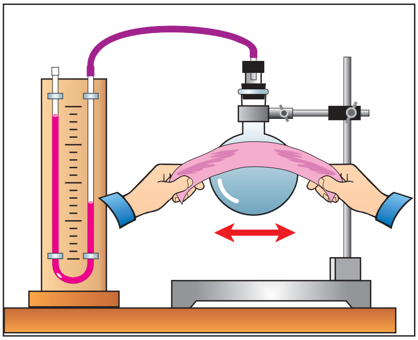
Правядзём яшчэ адзін дослед. У таўстасценную шкляную пасудзіну налеем крыху вады (чайную лыжку) для ўвільгатнення паветра ў пасудзіне. Помпай (мал. 13) будзем напампоўваць у пасудзіну паветра. Праз некалькі пампаванняў корак вылеціць, а ў пасудзіне ўтворыцца туман. З назіранняў за навакольным асяроддзем мы ведаем, што туман з'яўляецца тады, калі пасля цёплага дня надыходзіць халодная ноч. Значыць, туман у пасудзіне сведчыць аб ахаладжэнні паветра, г. зн. аб памяншэнні яго ўнутранай энергіі. Але чаму паменшылася энергія? Таму што за яе кошт выканана работа па выштурхванні корка з пасудзіны.

Параўнаем вынікі доследаў. У абодвух выпадках змянілася ўнутраная энергія газу, але ў першым доследзе яна павялічылася, паколькі работа выконвалася знешняй сілай (над газам), а ў другім — паменшылася, бо работу выканала сіла ціску самога газу.

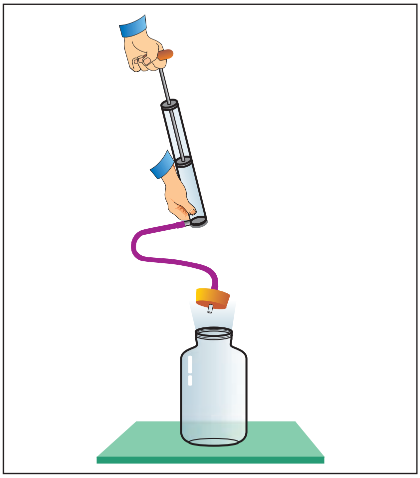
А ці можна, выконваючы работу, змяніць патэнцыяльную энергію ўзаемадзеяння малекул?

Зноў звернемся да доследу. Два кавалкі лёду пры 0 °C будзем церці адзін аб аднаго (мал. 14). Лёд ператвараецца ў ваду, пры гэтым тэмпература вады і лёду застаецца пастаяннай, роўнай 0 °C (гл. мал. 14). На што траціцца механічная работа сілы трэння?

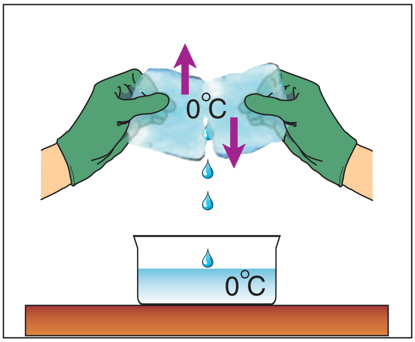
Безумоўна, на змяненне ўнутранай энергіі! Але кінетычная энергія малекул не змя-



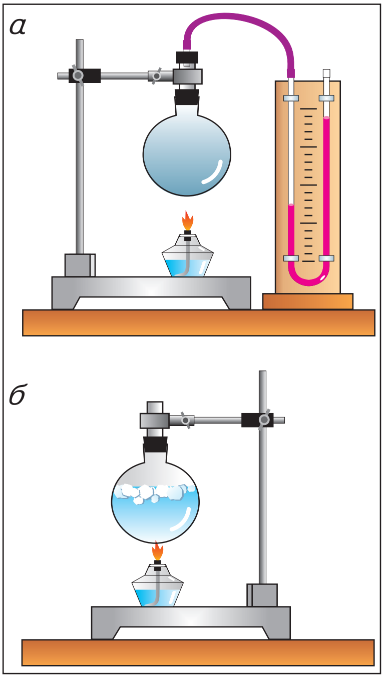
Мал. 12



Мал. 13



Мал. 14



Мал. 15

нілася, паколькі тэмпература не змянілася. Лёд ператварыўся ў ваду. Пры гэтым змяніліся сілы ўзаемадзеяння паміж малекуламі H_2O (нагадваем, што лёд і вада складаюцца з аднолькавых малекул), а значыць, змянілася патэнцыяльная энергія іх узаемадзеяння.

Выкананне механічнай работы — адзін са спосабаў змянення ўнутранай энергіі цела.

А ці ёсць магчымасць змяніць унутраную энергію цела, не выконваючы работу? Так, ёсць. Нагрэць паветра ў колбе (мал. 15, *а*), расплавіць лёд (мал. 15, *б*) можна з дапамогай спіртоўкі, перадаўшы паветру і лёду цеплату. У абодвух выпадках унутраная энергія павялічыцца.

Пры ахаладжэнні цел (паветра, лёду) іх унутраная энергія памяншаецца, а цеплата ад цел перадаецца навакольнаму асяроддзю.

Працэс змянення ўнутранай энергіі цела без выканання работы называецца цеплаперадачай.

Такім чынам, **выкананне механічнай работы і цеплаперадача — два спосабы змянення ўнутранай энергіі цела**. Велічыню, роўную змяненню ўнутранай энергіі пры цеплаперадачы, называюць **колькасцю цеплаты** (абазначаецца $\boldsymbol{Q}$). Адзінкай колькасці цеплаты, як работы і энергіі, у СІ з'яўляецца **джоўль**.

Фізікі XVIII ст. і першай паловы XIX ст. разглядалі цеплату не як змяненне энергіі, а як асобае рэчыва — цепларод, г. зн. вадкасць (флюід), якая можа перацякаць ад аднаго цела да другога. Калі цела награвалася, то лічылася, што ў яго ўліваўся цепларод, а калі ахалоджвалася — то выліваўся. Пры награванні целы расшыраюцца, што тлумачылася тым, што цепларод мае аб'ём. Але калі цепларод — рэчыва, то целы пры награванні павінны павялічваць сваю масу. Аднак узважванні паказвалі, што маса цела не змянялася. Тады цепларод пачалі лічыць бязважкім. Тэорыю цеплароду падтрымлівалі многія вучоныя, у тым ліку і такі геніяльны вучоны, як Г. Галілей. Дж. Джоўль на падставе праведзеных ім доследаў прыйшоў да вываду, што цепларод не існуе і што цеплата ёсць мера змянення кінетычнай і патэнцыяльнай энергіі часціц цела, якія рухаюцца. Аднак уведзеная на падставе тэорыі цеплароду адзінка — *калорыя* — захавалася і да цяперашняга часу.

У далейшым выраз **«надаць** целу **колькасць цеплаты»** мы будзем разумець як **«змяніць унутраную энергію** цела **без выканання механічнай работы»**.

А выраз **«нагрэць цела»** будзем разумець як **«павысіць яго тэмпературу»** любым з двух спосабаў.

Галоўныя вывады

1. Унутраную энергію цела можна змяніць шляхам выканання механічнай работы або цеплаперадачай.

2. Змяненне ўнутранай энергіі пры награванні або ахаладжэнні цела пры пастаянным аб'ёме звязана са змяненнем сярэдняй кінетычнай энергіі яго часціц.

3. Змяненне ўнутранай энергіі цела пры нязменнай тэмпературы звязана са змяненнем патэнцыяльнай энергіі яго часціц.

Кантрольныя пытанні

1. Якімі спосабамі можна змяніць унутраную энергію цела?
2. Як змяняецца ўнутраная энергія цела, калі яго: а) награваць; б) ахалоджваць?
3. Ці можна змяніць унутраную энергію цела, не змяняючы яго тэмпературы? Прывядзіце прыклады.
4. Якая з'ява называецца цеплаперадачай?
5. Што такое колькасць цеплаты і ў чым яна вымяраецца?

Практыкаванне 2

1. Як і якім спосабам змяняецца ўнутраная энергія: а) свердла пры свідраванні дэталі; б) пакета малака, змешчанага ў халадзільнік?

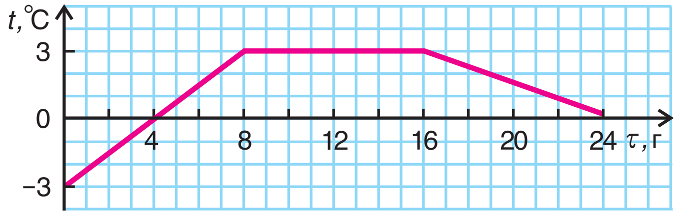
2. Запаліць запалку можна трэннем яе галоўкі аб запалкавы пачак і ад полымя спіртоўкі. Ці роўныя змяненні ўнутранай энергіі галоўкі запалкі ў абодвух выпадках? Чым адрозніваюцца спосабы змянення ўнутранай энергіі ў абодвух выпадках?

3. Калі цела нагрэлася, то яго ўнутраная энергія павялічылася. Ці правільным будзе адваротнае сцвярджэнне: калі ўнутраная энергія цела павялічылася, то яно нагрэлася? Прывядзіце прыклады.

4. Адну шайбу нацерлі палоскай сукна, выканаўшы работу $A_1 = 1$ Дж, а другую такую ж шайбу паднялі ўверх, выканаўшы работу $A_2 = 1$ Дж. Ці аднолькава змянілася іх унутраная энергія? Чаму?

5. Алюмініевая і стальная лыжкі аднолькавага аб'ёму зваліліся са стала на падлогу. Лічачы, што ўся механічная энергія лыжак пры падзенні пайшла на іх награванне, вызначце, ці аднолькава змянілася іх унутраная энергія.

6. Чаму пры напампоўванні паветра ў веласіпедную шыну помпа награваецца больш моцна, чым пры выкананні такой жа колькасці рухаў поршня помпы, адключанай ад шыны?



Мал. 16

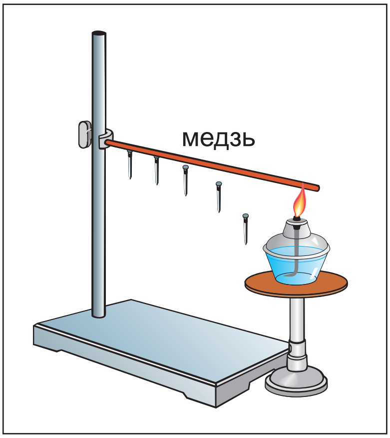
7. Графік залежнасці тэмпературы знадворнага паветра ад часу сутак паказаны на малюнку 16. У якія прамежкі часу ўнутраная энергія забытых на вуліцы канькоў змянялася найбольш моцна?

§ 4. Цеплаправоднасць

У папярэднім параграфе мы ўмовіліся гаварыць аб колькасці цеплаты толькі ў тым выпадку, калі ўнутраная энергія цела змяняецца без выканання работы, г. зн. шляхам цеплаперадачы. Якія віды цеплаперадачы існуюць у прыродзе?



Мал. 17



Мал. 18

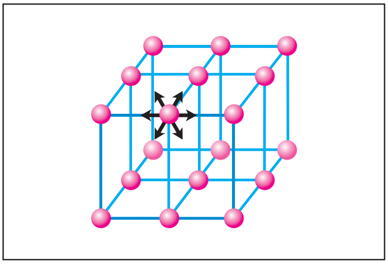
Усім нам вядома, што цеплата можа «падарожнічаць» з аднаго месца на другое. Пры размешванні вугалёў металічным стрыжнем (мал. 17) награваецца і той яго канец, які не знаходзіцца ў полымі. Металічная ручка патэльні награваецца, хоць непасрэдна над полымем газавай гарэлкі не знаходзіцца. У абодвух выпадках адбываецца перанос энергіі ад больш нагрэтых частак цела да менш нагрэтых. Прывядзіце самі прыклады падобнага пераносу.

Як жа адбываецца перанос энергіі?

Правядзём дослед. Да меднага стрыжня з дапамогай воску або пластыліну прымацуем некалькі цвічкоў (можна запалак) (мал. 18). Свабодны канец стрыжня будзем награваць на полымі спіртоўкі. Мы заўважым, што спачатку адваляцца цвічкі, што знаходзяцца бліжэй да полымя, а затым па чарзе ўсе астатнія. Чаму так адбываецца?

У цвёрдым целе (метале) часціцы ўзаемадзейнічаюць паміж сабой. Пры гэтым яны выконваюць вагальныя рухі (мал. 19). У полымі

спіртоўкі тэмпература свабоднага канца меднага стрыжня павышаецца. А гэта значыць, што павялічваецца сярэдняя кінетычная энергія вагальнага руху яго часціц. Паколькі часціцы ўзаемадзейнічаюць, то ўзмацняюцца ваганні і суседніх часціц, а ад іх — наступных і гэтак далей па ўсім стрыжні. Гэта можна параўнаць з перадачай энергіі вагальнага руху ад аднаго да другога ў ланцужку дзяцей, якія ўзяліся за рукі (мал. 20). Калі адзін з дзяцей будзе зрушвацца то ў адзін бок, то ў другі, то ён выкліча зрушэнне па чарзе і ўсіх астатніх. Заўважым, што ў гэтым відзе цеплаперадачы пераносу самога рэчыва не адбываецца.



Мал. 19

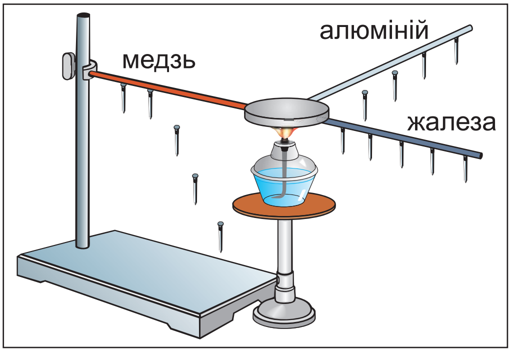


Мал. 20

Працэс пераносу цеплаты ад больш нагрэтых цел або частак цела да больш халодных у выніку цеплавога руху і ўзаемадзеяння часціц без пераносу рэчыва называецца цеплаправоднасцю.

Перанос энергіі адбываецца да той пары, пакуль тэмпература не стане аднолькавай па ўсім аб'ёме цела.

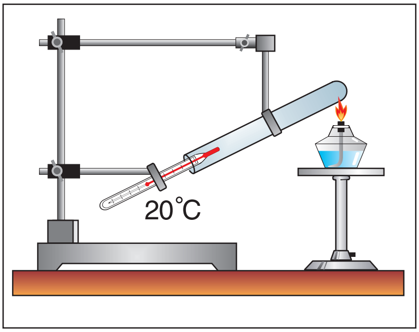
У розных рэчываў цеплаправоднасць неаднолькавая (мал. 21). Цеплаправоднасць медзі большая за цеплаправоднасць алюмінію і жалеза. Малую цеплаправоднасць маюць пластмаса, драўніна, шкло. Менавіта таму драўляныя дамы добра захоўваюць цеплату. Ручкі каструль, паяльнікаў (мал. 22) робяць з пластмасы і дрэва. Дрэва, пластмаса і іншыя слабаправодзячыя цеплату матэрыялы называюць *цеплаізалятарамі*.



Мал. 21



Мал. 22



Мал. 23

А ці могуць праводзіць цеплату газы?

Праробім дослед: змесцім у адкрыты канец прабіркі тэрмометр (мал. 23) і будзем награваць прабірку зверху. Награваецца паветра вельмі павольна, што пацвярджаецца нязначным павышэннем тэмпературы. Чым тлумачыцца слабая цеплаправоднасць газаў? Успомніце, што сілы ўзаемадзеяння паміж малекуламі газаў пры нармальным ціску практычна роўны нулю. Значыць, энергія пераносіцца толькі за кошт хаатычнага руху малекул і сутыкнення паміж імі.

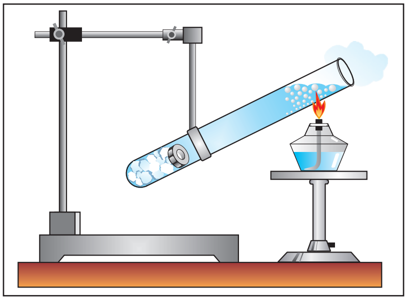
Цеплаправоднасць паветра амаль у 10 000 разоў меншая за цеплаправоднасць медзі. Цяпер вы можаце растлумачыць, чаму для ацяплення кватэр, пабудоў для жывёлы выкарыстоўваюць порыстыя рэчывы, якія змяшчаюць паветра: пенапласт, лямец. Вата, шэрсць, пух, футра і падобныя да іх матэрыялы змяшчаюць паміж валокнамі паветра і таму з’яўляюцца добрымі ахоўнікамі ад холаду для чалавека і жывёл (мал. 24).

А якая ж цеплаправоднасць вадкасцей? Возьмем прабірку з кавалачкамі лёду і вадой і змесцім над полымем спіртоўкі. Вада ў верхняй частцы прабіркі ўжо



Мал. 24

кіпіць, а ў ніжняй — усё яшчэ застаецца лёд (мал. 25). Гэта сведчыць аб малой цеплаправоднасці вады, хоць яна і большая за цеплаправоднасць паветра. Сапраўды, цеплаправоднасць вады прыкладна ў 25 разоў вышэйшая, чым паветра, але ў ≈330 разоў меншая за цеплаправоднасць медзі. Аднак металы ў вадкім стане (ртуць, волава і інш.) маюць вялікую цеплаправоднасць.



Мал. 25

Галоўныя вывады

1. Цеплаправоднасць абумоўлена хаатычным рухам і ўзаемадзеяннем часціц паміж сабой.

2. Пры цеплаправоднасці няма пераносу рэчыва.

3. Перанос энергіі адбываецца ад больш нагрэтых цел або частак цела да менш нагрэтых. Працэс доўжыцца да таго моманту, пакуль тэмпература не стане аднолькавай па ўсім целе.

Кантрольныя пытанні

1. Што называецца цеплаправоднасцю?
2. Чым адрозніваюцца механізмы пераносу цеплаты ў цвёрдых целах і газах?
3. Ці будзе змяняцца цеплаправоднасць паветра пры яго расшырэнні? Сцісканні? Чаму?
4. Колькі доўжыцца працэс цеплаправоднасці пры кантакце двух цел, якія маюць розныя пачатковыя тэмпературы?
5. Ці магчыма цеплаправоднасць у моцна разрэджаных газах?

Практыкаванне 3

1. Чаму дно посуда для гатавання ежы (мал. 26) вырабляецца з добра праводзячых цеплату матэрыялаў?

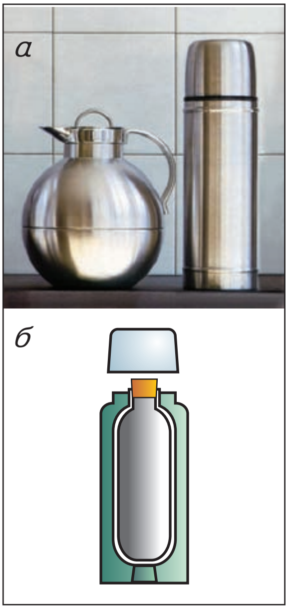
2. Аконныя рамы ў дамах робяць падвойнымі, а ў Якуціі — трайнымі. Чаму?

3. Прааналізуйце выраз: «Шуба грэе чалавека». Хто каго грэе?

4. Чаму пры вымярэнні тэмпературы цела медыцынскі ртутны тэрмометр трэба трымаць пад пахай не менш за 5—7 мін?



Мал. 26



Мал. 27

5. Міша наліў у шклянку кіпеню. Шклянка лопнула. Маша ў сваю шклянку спачатку апусціла лыжку, а затым наліла кіпеню. Шклянка засталася цэлай. Чаго не ўлічыў Міша?

6. Чаму стальныя нажніцы здаюцца больш халоднымі, чым драўляны алоўак, які знаходзіцца ў тым жа пакоі, што і нажніцы? Ці аднолькавая іх тэмпература?

7. Шчыльнасці двух кавалкаў пенапласту роўны: $\rho_1 = 40\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_2 = 100\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Ці аднолькавая цеплаправоднасць кавалкаў пенапласту?

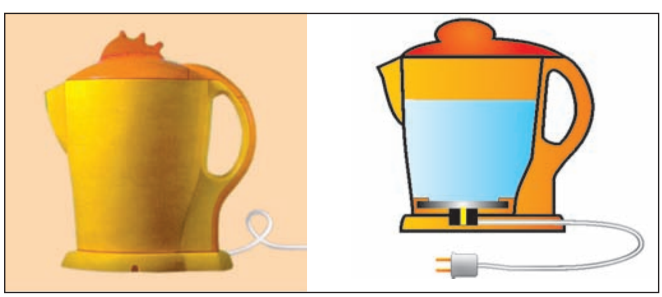
8. Слой рыхлага снегу засцерагае азімыя пасевы ад вымярзання. А даследчыкі Крайняй Поўначы са снегу будавалі сабе часовае жыллё. Чаму такое магчыма?

9. Чаму ў тэрмасе (мал. 27, *а*) доўга захоўваюцца гарачымі чай, кава? Навошта адпампоўваюць паветра з прасторы паміж падвойнымі сценкамі тэрмаса (мал. 27, *б*)?

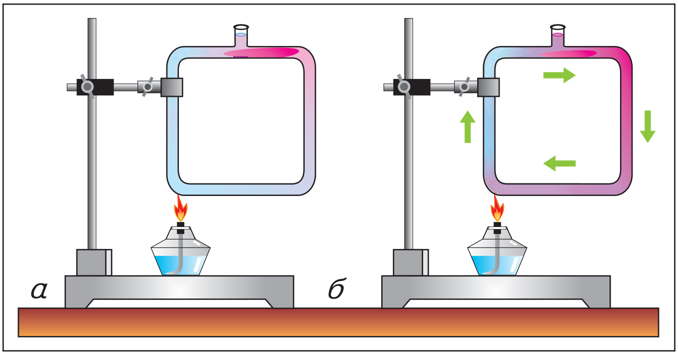
10. У паветры пры тэмпературы $t = 20—22$ °C у купальніку нам цёпла, а ў вадзе пры такой самай тэмпературы мы хутка адчуваем холад. Чаму?

§ 5. Канвекцыя

Звярніце ўвагу на месца награвальнага элемента ў электрачайніку, кававарцы і іншых прыборах для награвання вады (мал. 28). У кожнага з іх награвальны элемент размешчаны ўнізе, каля дна. Тым не менш вада награваецца па ўсім аб'ёме. Як гэта адбываецца? Як награваецца паветра ва ўсім пакоі, калі ацяпляльныя батарэі стаяць унізе каля падлогі? Гэта адбываецца з прычыны канвекцыі.



Мал. 28



Мал. 29

Што ж такое канвекцыя?

Звернемся да доследу. У трубку з халоднай вадой апусцім некалькі крышталікаў марганцоўкі. Будзем награваць трубку знізу (мал. 29). Мы ўбачым, як нагрэтыя ніжнія слаі вады падымаюцца ўверх. Верхнія афарбаваныя слаі як больш халодныя, а значыць, больш цяжкія, апускаюцца ўніз, награваюцца і рухаюцца ўверх. Праз некаторы час вада награецца па ўсім аб'ёме трубкі. Так адбываецца перанос цеплаты (энергіі) у вадкасцях.



Мал. 30

Назіраць перанос цеплаты (энергіі) у газах, напрыклад у паветры, можна, калі прарабіць такі дослед. Запалім свечку. Нагрэтае над полымем свечкі паветра перамяшчаецца ўверх. У ценевай праекцыі бачны яго паток (мал. 30).

Паставіўшы на шляху кардонную пласцінку, можна змяніць напрамак патоку, што відаць на экране.

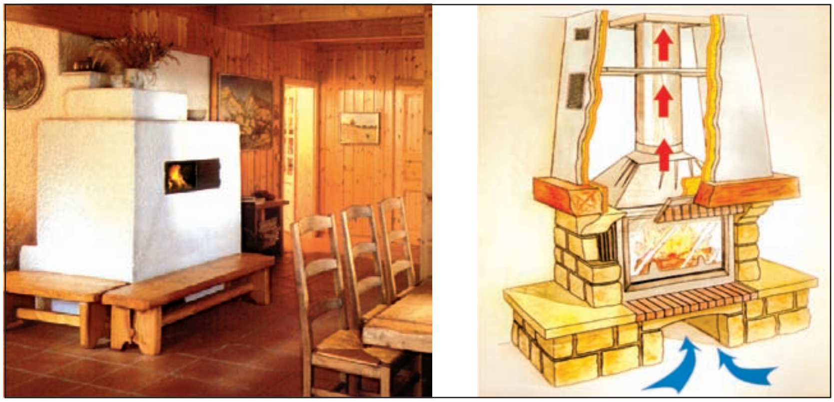
Аб'ём вадкасцей і газаў пры награванні павялічваецца, а шчыльнасць памяншаецца. Яны становяцца больш лёгкімі, падымаюцца ўверх, пераносячы з сабой энергію, што прыводзіць да выраўноўвання тэмпературы па ўсім аб'ёме вадкасці або газу.



Мал. 31

Перанос энергіі ў вадкасцях і газах патокамі рэчыва называецца канвекцыяй.

А ці магчыма канвекцыя ў цвёрдых целах? Відавочна, не, паколькі ў цвёрдым целе рэчыва не можа перамяшчацца па аб'ёме. Успомніце жорсткую структуру цвёрдага цела, напрыклад алмазу (мал. 31).



Мал. 32

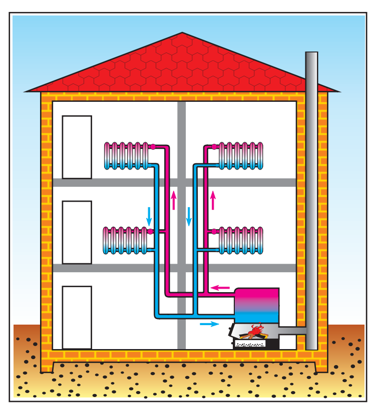
Дзякуючы канвекцыі ствараецца цяга, неабходная для поўнага спальвання паліва. Яна надзвычайна важная не толькі для добрай работы хатніх пячэй (мал. 32) і камінаў. Для стварэння добрай цягі нават невялікія кацельныя маюць трубы вышынёй у некалькі дзясяткаў метраў (мал. 33). Трубы адной з найбуйнейшых у Еўропе Новалукомльскай цеплаэлектрастанцыі маюць вышыню па 250 м кожная.

Прыкладам выкарыстання канвекцыі з'яўляецца сістэма вадзянога ацяплення (мал. 34). Нагрэтая вада (у кацельных або цеплаэлектрацэнтралях — ЦЭЦ) па трубаправодах паступае ў будынак (у падвал). Па трубе вялікага сячэння (стаяку) гарачая вада падымаецца ўверх, пападае ў ацяпляльныя батарэі (радыятары). Батарэі з вадой аддаюць энергію паветру ў памяшканні, вада астывае. Астылая вада з батарэй па другому стаяку вяртаецца назад.

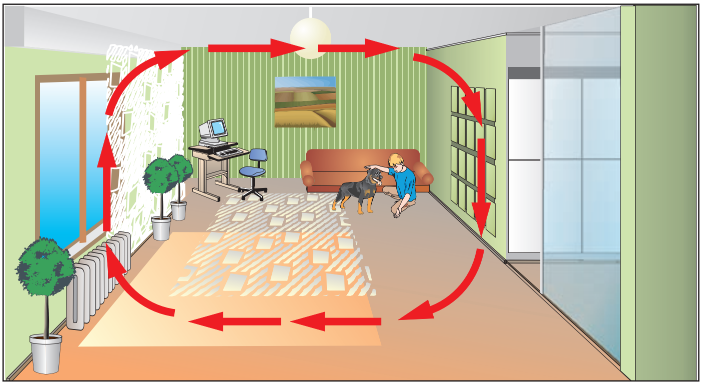
Ацяпляльныя батарэі стаяць унізе (пад вокнамі) (мал. 35) і шляхам канвекцыі награваюць паветра па ўсім аб'ёме памяшкання.



Мал. 33



Мал. 34



Мал. 35

Дзякуючы канвекцыі награваецца вада ў каструлі на электрычнай або газавай пліце.

Канвекцыяй тлумачацца начныя і дзённыя вятры — *брызы,* якія ўзнікаюць на берагах мораў і акіянаў.

У сонечны летні дзень паветра, якое больш цёплае над сушай, чым над вадой, падымаецца ўверх. Гэта выклікае паніжэнне ціску над сушай. Сюды перамяшчаецца з мора халоднае паветра. Гэта — *дзённы брыз*. Самастойна вызначце напрамак і прычыны *начнога брызу*.

Галоўныя вывады

1. Канвекцыя — спосаб перадачы энергіі (цеплаты) патокамі газу або вадкасці.
2. Пры канвекцыі адбываецца перамяшчэнне рэчыва — вадкасці або газу.
3. Канвекцыя немагчыма ў цвёрдых целах.

Кантрольныя пытанні

1. Што ўяўляе сабой канвекцыя?
2. Чаму канвекцыя немагчыма ў цвёрдых целах?
3. Ці можна сказаць, што ахаладжэнне пакоя з дапамогай адкрытай фортачкі выклікана канвекцыяй?
4. Што агульнае і рознае маюць з'явы канвекцыі і цеплаправоднасці?

Практыкаванне 4

1. Чаму фортачкі робяць у верхняй частцы акна?

2. Чаму награвальны элемент у электрачайніка знаходзіцца ўнізе?

3. Вымерайце тэмпературу паветра ў вашай кватэры каля падлогі і столі. Ці супадаюць паказанні тэрмометра? Чаму?

4. Як граматна зрабіць, каб хутчэй ахаладзіць бутэльку ліманаду: паставіць яе на лёд або абкласці лёдам зверху? Адказ абгрунтуйце.

5. Калі да запаленай свечкі паднесці далоні на аднолькавыя адлегласці збоку і зверху, якая далонь нагрэецца хутчэй? Чаму? Праверце эксперыментальна.



6. Ці будзе гарэць свечка ў касмічным караблі-спадарожніку? Чаму?

§ 6. Выпраменьванне

У халодным памяшканні мы распальваем камін (мал. 36) і, уладкаваўшыся насупраць, зведваем прыемныя адчуванні цяпла, якое ідзе ад яго. Але як у дадзеным выпадку перадаецца да нас цеплавая энергія? Ні цеплаправоднасць, ні канвекцыя не могуць быць прычынай такой перадачы энергіі. Цеплаправоднасць паветра вельмі малая. Канвекцыйныя патокі рухаюцца ўверх.



Мал. 36

Існуе яшчэ адзін спосаб цеплаперадачы — **выпраменьванне**, які магчымы і там, дзе няма асяроддзя (у космасе).

Выпраменьваннем пераносіцца да Зямлі цеплата ад такой магутнай крыніцы, як Сонца. Касцёр (мал. 37), напаленая печ, камін і інш. — усё гэта прыклады крыніц, якія нараўне з канвекцыяй і цеплаправоднасцю перадаюць энергію больш халодным целам праз выпраменьванне.



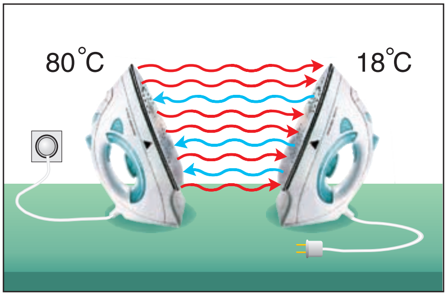
Мал. 37

Любое цела выпраменьвае і паглынае энергію, але пры цеплаабмене перанос энергіі (цеплаты) адбываецца ад больш нагрэтага цела да менш нагрэтага. «Халоднае» цела само таксама выпраменьвае энергію, але менш, чым паглынае (мал. 38). «Гарачае» ж цела, наадварот, выпраменьвае энергіі больш, чым паглынае. У выніку «гарачае» цела ахаладжаецца, а «халоднае» — награваецца.

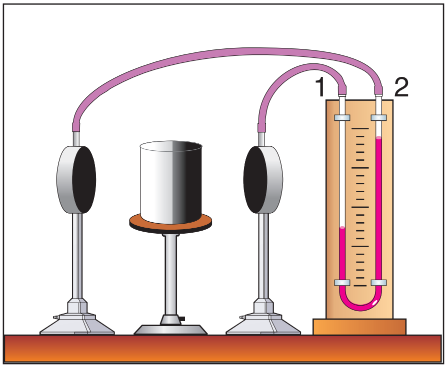
Механізм выпраменьвання складаны. З ім вы пазнаёміцеся ў 11-м класе. Цяпер жа падкрэслім тое, што пры выпраменьванні, як і пры цеплаправоднасці, адбываецца перанос энергіі, а не рэчыва. Для выпраменьвання не патрабуецца асяроддзе.

Ад чаго залежыць, наколькі эфектыўна будзе адбывацца выпраменьванне?

Правядзём дослед. Два цеплапрыёмнікі злучым з каленамі манометра (мал. 39). Паднясём іх чорнымі бакамі да пасудзіны з гарачай вадой, адна палова якой зачэрнена, другая — белая. Узровень вадкасці ў калене *1* манометра стаў ніжэйшы, чым у калене *2*, г. зн. паветра ў цеплапрыёмніку, які павернуты да зачэрненай паверхні пасудзіны, нагрэлася больш моцна. Значыць, **целы з цёмнай паверхняй выпраменьваюць больш энергіі** (цеплаты), **чым целы са светлай паверхняй**. Таму целы з цёмнай паверхняй астываюць хутчэй, чым са светлай.

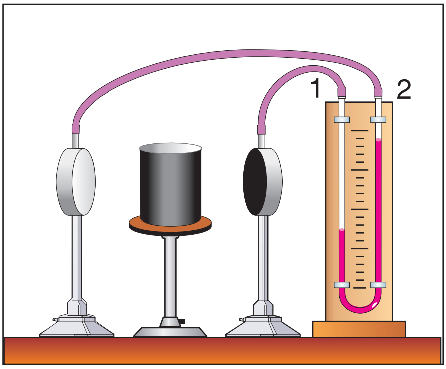


Мал. 38



Мал. 39

А ці ёсць адрозненне ў паглынанні энергіі гэтымі целамі? Відазменім дослед. Да пасудзіны з гарачай вадой, уся паверхня якой зачэрнена, павернем цеплапрыёмнікі рознымі бакамі: адзін — чорнай, другі — белай (мал. 40). Узровень вадкасці ў калене манометра *1* стаў ніжэйшы. Значыць, паветра ў цеплапрыёмніку, звернутым да пасудзіны чорным бокам, паглынула больш энергіі і нагрэлася мацней.



Мал. 40

Такім чынам, **целы з цёмнай паверхняй паглынаюць больш энергіі**, **чым целы са светлай паверхняй**, а таму і награваюцца хутчэй.

Цела, якое больш паглынае энергіі, больш і выпраменьвае.



Мал. 41



Мал. 42

Гэты факт улічваецца ў тэхніцы і быце. Самалёты, скафандры касманаўтаў, халадзільнікі, маразільныя камеры (мал. 41) афарбоўваюць у серабрысты або белы колер, каб яны менш награваліся.

У гарачыню носяць светлае адзенне. Бак для душа на дачным участку фарбуюць у чорны колер, каб выкарыстаць сонечную энергію для награвання вады.

У паўночных раёнах часам лёд афарбоўваюць з самалёта ў чорны колер яшчэ да надыходу паводкі, каб пазбегнуць бурнага ледаходу.

Адзначым важную ролю плошчы паверхні, якая выпраменьвае (або паглынае). Паколькі цеплавое выпраменьванне адбываецца з кожнай адзінкі плошчы паверхні, то, чым большая паверхня, тым больш выпраменьваецца (паглынаецца) цеплаты. Таму, напрыклад, радыятары вадзянога ацяплення (мал. 42) маюць складаную рабрыстую паверхню, хоць пры вытворчасці прасцей і танней было б вырабляць радыятары больш простых форм (прамавугольнай, цыліндрычнай). Большая плошча нагрэтага цела павялічвае цеплаперадачу і іншымі спосабамі — цеплаправоднасцю і канвекцыяй.

Галоўныя вывады

1. Перанос энергіі ад больш нагрэтых цел да больш халодных можа адбывацца з дапамогай выпраменьвання.

2. Выпраменьванне — адзіны спосаб цеплаперадачы, які не патрабуе наяўнасці асяроддзя.

3. Усе нагрэтыя целы не толькі выпраменьваюць, але і паглынаюць энергію.

4. Целы, афарбаваныя ў цёмныя колеры, больш паглынаюць і больш выпраменьваюць энергіі, чым целы, якія маюць светлую афарбоўку.

Кантрольныя пытанні

1. Як змяняецца тэмпература цела пры выпраменьванні энергіі? Пры паглынанні?
2. Калі змяненне тэмпературы цела спынілася, то ці азначае гэта, што цела больш не выпраменьвае?
3. Закончыце фразу: «Калі цела больш паглынае энергіі, то яно...».
4. Чым адрозніваецца перадача цеплаты выпраменьваннем ад іншых відаў цеплаперадачы?

Практыкаванне 5



Мал. 43

1. У якой з кававарак (мал. 43) аднолькавага аб'ёму кава зварыцца раней? Астыне раней?

2. Назавіце прычыны, па якіх у горадзе снег растае раней, чым у вёсцы.

3. Лёд, які мае тэмпературу $t_1 = -5\ °C$, змясцілі ў халадзільную камеру. Як будзе змяняцца яго температура, калі тэмпература ў камеры: а) $t_2 = -10\ °C$; б) $t_3 = -5\ °C$; в) $t_4 = -1\ °C$? Адказ абгрунтуйце.

4. Вагоны-рэфрыжэратары для перавозкі прадуктаў, якія хутка псуюцца (мяса, рыба, фрукты), маюць падвойныя сценкі. Прастору паміж сценкамі запаўняюць пенапластам, а вонкавыя паверхні афарбоўваюць у белы або жоўты колер. Якія фізічныя з'явы ўлічаны ў канструкцыі вагона-рэфрыжэратара?

5. Маша даказвае, што ў гарачыню ў белым адзенні больш прахалодна, чым у чорным, паколькі яно менш паглынае сонечнай энергіі. Дзіма лічыць, што лепш насіць чорнае адзенне, паколькі яно больш выпраменьвае. Хто з дзяцей мае рацыю? Чаму?



Мал. 44

6. Чаму паверхню цыліндраў рухавіка матацыклаў робяць рабрыстай (мал. 44)?

7. Вам неабходна хутчэй астудзіць гарачы чай. Як гэта зрабіць: а) адразу дабавіць лыжку цукру і пачакаць некалькі мінут; б) пачакаць некалькі мінут, а потым дабавіць цукар?

8. Над уключанай электрычнай лямпачкай замацавана металічная пласціна. Ці аднолькавым будзе змяненне тэмпературы пласціны, калі дослед праводзіць у пакоі і ў касмічным караблі? Ціск, тэмпература паветра і прамежак часу правядзення доследу аднолькавыя.

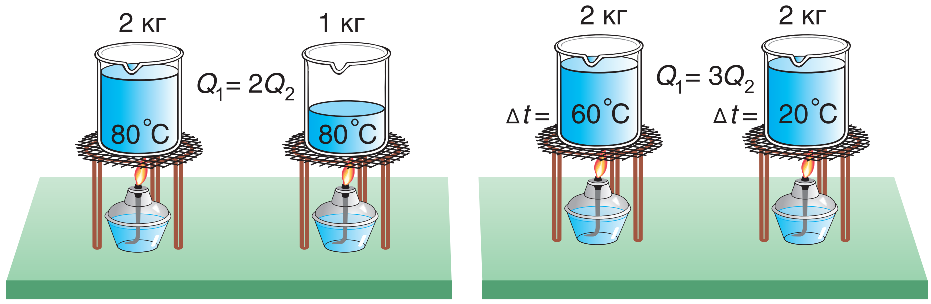
9. Выкарыстоўваючы свае веды аб цеплаперадачы, прапануйце праект дачнага доміка, у якім летам будзе прахалодна, а зімой цёпла. Якія фізічныя з'явы неабходна ўлічваць пры стварэнні дадзенага праекта?

§ 7. Разлік колькасці цеплаты пры награванні і ахаладжэнні. Удзельная цеплаёмістасць

Вы ўжо ведаеце, што змяніць унутраную энергію цела можна перадачай яму колькасці цеплаты. Як звязана змяненне ўнутранай энергіі цела, г. зн. колькасці цеплаты, з характарыстыкамі самога цела?

Унутраная энергія цела ёсць сумарная энергія ўсіх яго часціц. Значыць, калі масу цела павялічыць у два або ў тры разы, то і колькасць цеплаты, неабходная для яго награвання на адзін і той жа лік градусаў, павялічыцца ў два або тры разы. Напрыклад, на награванне двух кілаграмаў вады ад 20 °C да 80 °C патрабуецца ў два разы больш цеплаты, чым на награванне аднаго кілаграма вады (мал. 45, *а*).

Відавочна таксама, што для награвання вады да кіпення трэба перадаць ёй большую колькасць цеплаты, чым для таго, каб яна стала толькі цёплай (мал. 45, *б*).

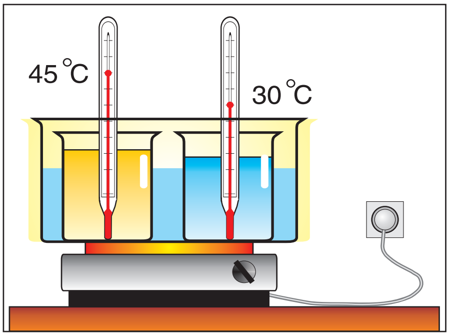


Мал. 45 *а* *б*

З гэтых разважанняў вынікае пацверджаны доследамі вывад.

Колькасць цеплаты, неабходная для награвання цела, прама прапарцыянальна яго масе і змяненню тэмпературы.

А ці залежыць колькасць цеплаты, неабходная для награвання, ад рэчыва, якое награваецца?



Мал. 46

У дзве аднолькавыя металічныя шклянкі нальём па 150 г алею і вады. Апусцім у шклянкі тэрмометры і паставім на награвальнік (электраплітку або спіртоўку) (мал. 46). Атрымаўшы за аднолькавы час ад награвальніка роўную з вадой колькасць цеплаты, алей нагрэўся больш, чым вада. Зна-

чыць, для змянення тэмпературы алею на адну і тую ж велічыню патрабуецца менш цеплаты, чым для такой жа масы вады.

Таму для ўсіх рэчываў уводзяць спецыяльную велічыню — *удзельную цеплаёмістасць рэчыва* (ад лац. capacite — ёмістасць, умяшчальнасць). Гэту велічыню абазначаюць літарай ***c***. Удзельная цеплаёмістасць паказвае, якую колькасць цеплаты трэба перадаць 1 кг дадзенага рэчыва, каб павысіць яго тэмпературу на 1 °С.

Цяпер мы можам запісаць строгую формулу для колькасці цеплаты, неабходнай для награвання:

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

З формулы

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

удзельная цеплаёмістасць ёсць фізічная велічыня, лікава роўная колькасці цеплаты, якую неабходна перадаць 1 кг дадзенага рэчыва, каб змяніць яго тэмпературу на 1 °С.

Удзельная цеплаёмістасць вымяраецца ў **джоўлях на кілаграм-градус Цэльсія** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}\right)$.

У табліцы 1 пададзены значэнні ўдзельнай цеплаёмістасці розных рэчываў (у розных станах). Як вынікае з табліцы 1, максімальнае значэнне ўдзельнай цеплаёмістасці мае вада: для награвання 1 кг вады на 1 °С патрабуецца 4200 Дж цеплаты — гэта амаль у 2,5 раза больш, чым для 1 кг алею, і ў 35 разоў больш, чым для 1 кг ртуці.

Табліца 1. **Удзельная цеплаёмістасць некаторых рэчываў**

Рэчыва	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$	Рэчыва	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$
Цвёрдыя целы			
Алюміній	$920 = 9{,}2 \cdot 10^2$	Парафін	$3200 = 3{,}2 \cdot 10^3$
Бетон	$880 = 8{,}8 \cdot 10^2$	Пясок	$970 = 9{,}7 \cdot 10^2$
Дрэва	$2700 = 2{,}7 \cdot 10^3$	Плаціна	$130 = 1{,}3 \cdot 10^2$
Жалеза, сталь	$460 = 4{,}6 \cdot 10^2$	Свінец	$120 = 1{,}2 \cdot 10^2$
Золата	$130 = 1{,}3 \cdot 10^2$	Серабро	$250 = 2{,}5 \cdot 10^2$
Цэгла	$750 = 7{,}5 \cdot 10^2$	Шкло	$840 = 8{,}4 \cdot 10^2$
Латунь	$380 = 3{,}8 \cdot 10^2$	Цэмент	$800 = 8{,}0 \cdot 10^2$
Лёд	$2100 = 2{,}1 \cdot 10^3$	Цынк	$400 = 4{,}0 \cdot 10^2$
Медзь	$380 = 3{,}8 \cdot 10^2$	Чыгун	$550 = 5{,}5 \cdot 10^2$
Нафталін	$1300 = 1{,}3 \cdot 10^3$	Сера	$710 = 7{,}1 \cdot 10^2$
Волава	$250 = 2{,}5 \cdot 10^2$		

Рэчыва	$c, \frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Рэчыва	$c, \frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Вадкасці			
Вада Гліцэрына Жалеза Газа Алей	$4200 = 4{,}2 \cdot 10^3$ $2400 = 2{,}4 \cdot 10^3$ $830 = 8{,}3 \cdot 10^2$ $2140 = 2{,}14 \cdot 10^3$ $1700 = 1{,}7 \cdot 10^3$	Масла трансфарма-тарнае Ртуць Спірт этылавы Эфір серны	$2000 = 2{,}0 \cdot 10^3$ $120 = 1{,}2 \cdot 10^2$ $2400 = 2{,}4 \cdot 10^3$ $2300 = 2{,}3 \cdot 10^3$
Газы (пры пастаянным ціску)			
Азот Аміяк Вадарод Вадзяная пара	$1000 = 1{,}0 \cdot 10^3$ $2100 = 2{,}1 \cdot 10^3$ $14\,300 = 1{,}43 \cdot 10^4$ $2200 = 2{,}2 \cdot 10^3$	Паветра Гелій Кісларод Вуглякіслы газ	$1000 = 1{,}0 \cdot 10^3$ $5200 = 5{,}2 \cdot 10^3$ $920 = 9{,}2 \cdot 10^2$ $830 = 8{,}3 \cdot 10^2$

Формула $Q = cm(t_2 - t_1)$ дае магчымасць знайсці і цеплату, якая вылучаецца пры ахаладжэнні цела. Паколькі канечная тэмпература t_2 астылага цела меншая за пачатковую t_1, то змяненне тэмпературы аказваецца адмоўным лікам. Значыць, і колькасць цеплаты, якая вылучаецца целам, выражаецца адмоўным лікам, што абазначае не рост, а памяншэнне ўнутранай энергіі цела.

У заключэнне заўважым, што пры цеплаабмене двух або некалькіх цел абсалютнае значэнне колькасці цеплаты, аддадзенай больш нагрэтым целам (целамі), роўна колькасці цеплаты, атрыманай больш халодным целам (целамі):

$$\left| Q_{ад} \right| = Q_{атр}.$$

Гэта роўнасць называецца *ўраўненнем цеплавога балансу* і выражае, па сутнасці, закон захавання энергіі. Яна справядлівая пры адсутнасці страт цеплаты.

Разгледзім канкрэтную задачу.

Для купання дзіцяці ў ванначку ўлілі халодную ваду масай $m_1 = 20$ кг пры тэмпературы $t_1 = 12$ °C. Колькі гарачай вады масай m_2 пры тэмпературы $t_2 = 80$ °C трэба дабавіць у ванначку, каб канчатковая тэмпература вады была $t_3 = 37$ °C? Удзельная цеплаёмістасць вады $c = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$.

Дадзена:	Рашэнне
$m_1 = 20$ кг $t_1 = 12$ °C $t_2 = 80$ °C $t_3 = 37$ °C $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$	Па законе захавання энергіі $\lvert Q_{\text{ад}} \rvert = Q_{\text{атр}}$. Аддавала цеплату гарачая вада, змяняючы сваю тэмпературу ад $t_2 = 80$ °C да $t_3 = 37$ °C: $$\lvert Q_{\text{ад}} \rvert = \lvert cm_2(t_3 - t_2) \rvert.$$ Халодная вада атрымала гэту цеплату і нагрэлася ад $t_1 = 12$ °C да $t_3 = 37$ °C: $$Q_{\text{атр}} = cm_1(t_3 - t_1).$$
m_2 — ?	

Паколькі нас цікавіць толькі модуль $Q_{\text{ад}}$, то можна запісаць:

$$Q_{\text{ад}} = cm_2(t_2 - t_3).$$

Тады

$$cm_2(t_2 - t_3) = cm_1(t_3 - t_1), \text{ або } m_2(t_2 - t_3) = m_1(t_3 - t_1);$$

$$m_2 = \frac{m_1(t_3 - t_1)}{t_2 - t_3} = \frac{20 \text{ кг} \cdot (37\ °\text{C} - 12\ °\text{C})}{80\ °\text{C} - 37\ °\text{C}} \approx 12 \text{ кг}.$$

Пры рашэнні мы не ўлічвалі страты цеплаты на награванне самой ваннaчкі, навакольнага паветра і г. д.

Магчымы і другі варыянт рашэння.

Разлічым спачатку колькасць цеплаты, якая была атрымана халоднай вадой:

$$Q_{\text{атр}} = cm_1(t_3 - t_1) = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}} \cdot 20 \text{ кг} \cdot (37\ °\text{C} - 12\ °\text{C}) = 2\,100\,000 \text{ Дж} = 2{,}1 \text{ МДж}.$$

Дапускаючы, што гэта цеплата аддадзена гарачай вадой, запішам:

$$Q_{\text{ад}} = cm_2(t_3 - t_2).$$

Выразім шуканую масу:

$$m_2 = \frac{Q_{\text{ад}}}{c(t_3 - t_2)} = \frac{-2\,100\,000 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}} \cdot (37\ °\text{C} - 80\ °\text{C})} \approx 12 \text{ кг}.$$

Адказ: $m_2 \approx 12$ кг.

Галоўныя вывады

1. Колькасць цеплаты, неабходная для награвання цела (якая вылучылася пры ахаладжэнні), прама прапарцыянальная яго масе, змяненню тэмпературы цела і залежыць ад рэчыва цела.

2. Удзельная цеплаёмістасць рэчыва лікава роўна колькасці цеплаты, якую трэба перадаць 1 кг дадзенага рэчыва, каб змяніць яго тэмпературу на 1 °C.

3. Пры цеплаабмене колькасць цеплаты, аддадзеная больш гарачым целам, роўна па модулі колькасці цеплаты, атрыманай больш халодным целам, калі няма страт цеплаты.

Кантрольныя пытанні

1. Якая фізічная велічыня вызначае колькасць цеплаты, якую вылучае пры ахаладжэнні на $\Delta t = 1$ °C цела масай $m = 1$ кг?
2. У якіх адзінках выражаецца ўдзельная цеплаёмістасць рэчыва? Як гэта даказаць?
3. Удзельная цеплаёмістасць вады $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$. Што гэта азначае?
4. Чаму па ўведзенай формуле можна разлічваць як значэнне цеплаты, неабходнае для награвання, так і вылучаемае пры ахаладжэнні цела?
5. Што называецца ўраўненнем цеплавога балансу? Якую заканамернасць яно паказвае?

Прыклад рашэння задачы

У ваду аб'ёмам $V_в = 4{,}0$ л і тэмпературай $t_1 = 80$ °C апусцілі стальную гіру масай $m_{ст} = 2{,}0$ кг, тэмпература якой $t_2 = 20$ °C. Вызначце канечную тэмпературу вады. Страты цеплаты не прымайце да ўвагі.

Дадзена:

$V_в = 4{,}0 \text{ л} = 4{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

$m_{ст} = 2{,}0$ кг

$\rho_в = 1{,}0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$t_1 = 80$ °C

$t_2 = 20$ °C

$c_в = 4{,}2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$

$c_{ст} = 4{,}6 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$

t_3 — ?

Рашэнне

Па ўраўненні цеплавога балансу: колькасць цеплаты, аддадзеная вадой, роўна колькасці цеплаты, якую атрымала гіра: $|Q_в| = Q_г$.

Модуль колькасці цеплаты, аддадзенай пры цеплаабмене вадой:

$$|Q_в| = |c_в m_в (t_3 - t_1)|; \ m_в = \rho_в V_в$$

або:

$$Q_в = c_в m_в (t_1 - t_3) = c_в \rho_в V_в (t_1 - t_3). \quad (1)$$

Колькасць цеплаты, якую атрымала гіра

$$Q_г = c_{ст} m_{ст} (t_3 - t_2). \quad (2)$$

Прыраўняўшы выразы (1) і (2), атрымаем:

$$c_в \rho_в V_в (t_1 - t_3) = c_{ст} m_{ст} (t_3 - t_2);$$

$$c_в \rho_в V_в t_1 - c_в \rho_в V_в t_3 = c_{ст} m_{ст} t_3 - c_{ст} m_{ст} t_2;$$

$$(c_{ст} m_{ст} + c_в \rho_в V_в) t_3 = c_в \rho_в V_в t_1 + c_{ст} m_{ст} t_2.$$

Канчаткова шуканая тэмпература:

$$t_3 = \frac{c_в \rho_в V_в t_1 + c_{ст} m_{ст} t_2}{c_{ст} m_{ст} + c_в \rho_в V_в}.$$

Падстаўляючы лікавыя даныя, атрымаем: $t_3 = 77$ °C.

Адказ: $t_3 = 77$ °C.

Практыкаванне 6

1. Калі пры награванні стальнога шарыка на $\Delta t = 80$ °C ім было паглынута $Q = 300$ Дж цеплаты, то колькі цеплаты вылучыцца пры яго астыванні на $\Delta t = 80$ °C?

2. Як зменіцца колькасць цеплаты, якая ідзе на награванне рэчыва на Δt °C, калі яго маса павялічыцца ў два разы?

3. У пасудзіну з гарачай вадой апусцілі стальны і алюмініевы шарыкі, якія маюць аднолькавую масу і пачатковую тэмпературу. Ці аднолькавым будзе змяненне іх тэмператур? Ці аднолькавую колькасць цеплаты паглынуць шарыкі?

4. Якая колькасць цеплаты спатрэбіцца, каб давесці да кіпення ваду ў аб'ёме $V = 1,0$ л, тэмпература якой $t = 15$ °C? Тэмпературу кіпення прыміце роўнай $t_1 = 100$ °C.

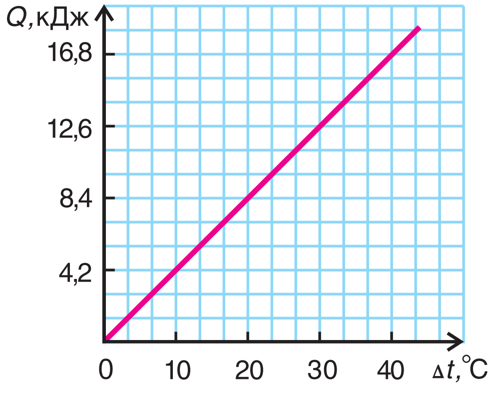
5. З якога рэчыва выраблена статуэтка масай $m = 200$ г, калі на яе награванне ад тэмпературы $t_1 = 20$ °C да $t_2 = 30$ °C спатрэбілася цеплаты $Q = 500$ Дж?

6. Якой будзе канчатковая тэмпература сумесі з вады масай $m_1 = 200$ г пры тэмпературы $t_1 = 40$ °C і вады масай $m_2 = 30$ г пры тэмпературы $t_2 = 10$ °C?

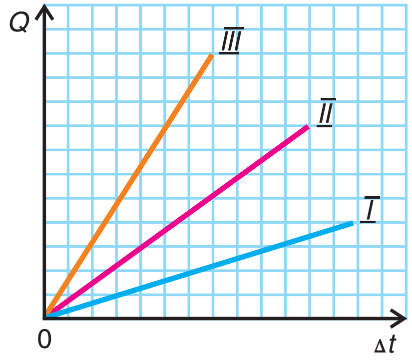
7. Да якой тэмпературы быў нагрэты жалезны брусок масай $m_1 = 3,0$ кг, калі вада аб'ёмам $V = 2,0$ л у пасудзіне, у якую быў апушчаны брусок, нагрэлася ад тэмпературы $t_1 = 15$ °C да тэмпературы $t_2 = 20$ °C? Страты цеплаты на награванне сценак пасудзіны не прымайце да ўвагі.

8. Які фізічны працэс адбываецца з рэчывам масай $m = 0,1$ кг? Графік працэсу паказаны на малюнку 47. Якое гэта рэчыва?

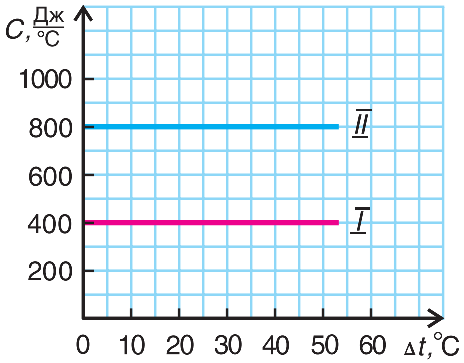
9. На графіках I, II, III (мал. 48) паказаны залежнасці колькасці цеплаты ад змянення тэмпературы для трох цел аднолькавай масы, але выраблены з розных рэчываў. Параўнайце ўдзельныя цеплаёмістасці рэчываў гэтых цел.



Мал. 47



Мал. 48



Мал. 49



10. На графіках I і II (мал. 49) паказаны залежнасці цеплаёмістасцей двух цел ад тэмпературы (цеплаёмістасць цела роўна ўдзельнай цеплаёмістасці рэчыва цела, памножанай на яго масу, $C = cm$). Вызначце колькасць цеплаты, неабходную для награвання гэтых цел на $\Delta t = 30$ °C. З якога рэчыва выраблены целы, калі маса кожнага з іх $m = 1{,}0$ кг? Які фізічны сэнс мае цеплаёмістасць? Ці аднолькавая цеплаёмістасць розных цел, вырабленых з аднаго і таго ж рэчыва?

§ 8. Гарэнне. Удзельная цеплата згарання паліва

Кожны з вас неаднаразова запальваў газавую гарэлку або распальваў печ, каб ускіпяціць ваду, зварыць суп, г. зн. атрымаць энергію ад згарання газу, дроў і перадаць яе ежы, якая гатуецца.

Каб «грэла» печ, трэба спаліць дровы (мал. 50), вугаль або торф. Энергія, якая вылучаецца пры іх згаранні, паглынаецца печчу, яе ўнутраная энергія павялічваецца, печ награваецца.



Мал. 50

Газ, вугаль, торф, дровы і інш. называюцца **палівам**.

Велічыня, лікава роўная колькасці энергіі, якая вылучаецца пры поўным згаранні 1 кг паліва, называецца ўдзельнай цеплатой згарання паліва.

Абазначаецца ўдзельная цеплата згарання літарай q. Тады пры поўным згаранні 2 кг паліва вылучыцца энергіі (цеплаты) у два разы больш, а пры поўным згаранні m кг — у m разоў больш, г. зн.

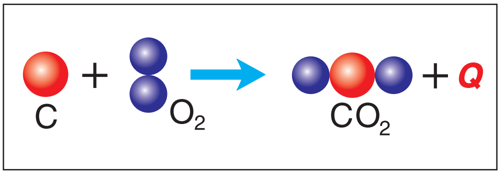
$$Q = qm,$$

адкуль удзельная цеплата згарання паліва

$$q = \frac{Q}{m}.$$

З формулы вынікае, што ўдзельная цеплата згарання вымяраецца ў **джоўлях на кілаграм** $\left(\frac{Дж}{кг}\right)$.

Чаму пры гарэнні вылучаецца энергія?



Мал. 51

Вы ўжо ведаеце, што малекулы складаюцца з атамаў. Малекула — дастаткова ўстойлівая канструкцыя. Каб яе разбурыць, г. зн. падзяліць на атамы, трэба затраціць энергію. Затое пры ўтварэнні малекулы з атамаў энергія вылучаецца. У працэсе гарэння ўтвараюцца малекулы. Напрыклад, вуглярод, які ўваходзіць у склад паліва, злучаецца з двума атамамі кіслароду паветра, і ўтвараецца малекула вуглякіслага газу CO_2 (мал. 51). Пры гэтым вылучаецца энергія (цеплата Q).

У табліцы 2 паказаны значэнні ўдзельнай цеплаты згарання q для розных відаў паліва. Прааналізуйце даныя табліцы 2. Вы ўбачыце, што найбольшая колькасць цеплаты вылучаецца пры згаранні 1 $м^3$ газападобнага вадароду — $q = 120\,000\,000\ \frac{Дж}{м^3} = 1{,}2 \cdot 10^8\ \frac{Дж}{м^3}$.

Вадарод — адзін з высокаэнергетычных відаў паліва. Акрамя таго, прадуктам згарання вадароду з'яўляецца звычайная вада. Гэта робіць вадарод экалагічна найбольш чыстым палівам, што для нас вельмі важна. Газападобны вадарод выбухованебяспечны і мае самую невялікую шчыльнасць у параўнанні з іншымі газамі пры роўнай тэмпературы і ціску. І хоць ёсць складанасці са звадкаваннем вадароду і яго транспарціроўкай, тым не менш, вадарод — перспектыўнае паліва.

Пры згаранні іншых відаў паліва (мазуту, прыроднага газу) выкідваюцца шкодныя для здароўя чалавека і ўсяго жывога рэчывы (мал. 52): вуглякіслы і



Мал. 52

чадны газы, попел і топачныя шлакі, якія забруджваюць паветра, глебу і ваду. Менавіта ў сувязі з забруджваннем атмасферы шкоднымі прадуктамі згарання праблема сацыяльных мерапрыемстваў па ахове навакольнага асяроддзя, пошуку экалагічна чыстага паліва з'яўляецца асабліва актуальнай.

Табліца 2. **Удзельная цеплата згарання розных відаў паліва**

Рэчыва	$q, \frac{МДж}{кг}$	Рэчыва	$q, \frac{МДж}{кг}$
Цвёрдае			
Буры вугаль	9,3	Каменны вугаль:	
Драўняны вугаль	29,7	маркі А-І	20,5
Дровы сухія	8,3	маркі А-ІІ	30,3
Драўняныя цуркі	15,0	Кокс	30,3
		Порах	3,0
		Торф	15,0
Вадкае			
Бензін, нафта	46,0	Мазут	40,0
Дызельнае паліва	42,0	Спірт этылавы	27,0
Газа	43,0		
Газападобнае $\left(\frac{МДж}{м^3}\right)$ (для 1 $м^3$ пры нармальных умовах)			
Генератарны газ	5,5	Прыродны газ	35,5
Коксавы газ	16,4	Свяцільны газ	21,0
		Вадарод	120,0

Галоўныя вывады

1. Гарэнне — працэс вылучэння энергіі ў выніку хімічнай рэакцыі злучэння атамаў розных рэчываў з кіслародам.

2. Удзельная цеплата згарання вызначае колькасць энергіі (цеплаты), якая вылучаецца пры поўным згаранні 1 кг паліва.

3. Згаранне паліва выклікае забруджванне навакольнага асяроддзя.

Кантрольныя пытанні

1. Што называецца ўдзельнай цеплатой згарання?
2. Удзельная цеплата згарання торфу амаль у два разы большая за ўдзельную цеплату згарання сухіх дроў. Як гэта разумець?
3. Які з відаў цвёрдага паліва, што паказаны ў табліцы 2, найлепшы? Найгоршы? Чаму?
4. Якое сцвярджэнне правільнае: «Удзельная цеплата згарання прама прапарцыянальна колькасці цеплаты, што вылучылася, і адваротна прапарцыянальна масе згарэлага паліва» або «Удзельная цеплата згарання паліва лікава роўна колькасці цеплаты, якая вылучаецца пры поўным згаранні 1 кг паліва»? Чаму?
5. Прапануйце шляхі паніжэння ступені забруджвання атмасферы пры выкарыстанні паліва.

Прыклад рашэння задачы

Вызначце масу торфу, які трэба спаліць, каб давесці да кіпення ($t_к = 100$ °C) ваду масай $m_в = 10$ кг, што мае тэмпературу $t_1 = 20$ °C. На награванне вады ідзе адна пятая частка цеплаты ад згарання паліва.

Дадзена:

$t_к = 100$ °C
$t_1 = 20$ °C
$m_в = 10$ кг
$Q_в = 0{,}2Q_т$
$c_в = 4{,}2 \cdot 10^3 \ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$
$q = 15{,}0 \ \frac{МДж}{кг} = 1{,}5 \cdot 10^7 \ \frac{Дж}{кг}$

$m_т$ — ?

Рашэнне

Колькасць цеплаты, неабходная для награвання вады: $Q_в = c_в m_в (t_к - t_1)$.

Торф пры згаранні вылучае энергію:

$$Q_т = qm_т.$$

Па ўмове вада атрымае $\frac{1}{5}Q_т$:

$$Q_в = \frac{1}{5}qm_т = 0{,}2qm_т.$$

Значыць:

$$c_в m_в (t_к - t_1) = 0{,}2qm_т.$$

Адкуль:

$$m_т = \frac{c_в m_в (t_к - t_1)}{0{,}2q}; \qquad m_т = \frac{4{,}2 \cdot 10^3 \ \frac{Дж}{кг \cdot °C} \cdot 10 \ кг \cdot 80 \ °C}{0{,}2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^7 \ \frac{Дж}{кг}} = 1{,}1 \ кг.$$

Адказ: $m_т = 1{,}1$ кг.

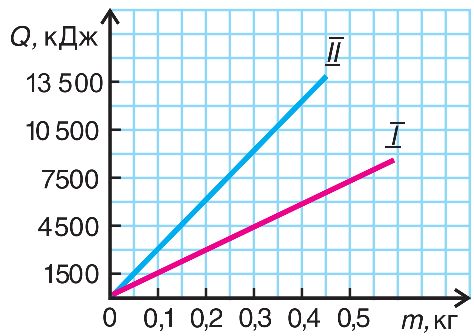
Практыкаванне 7

1. Колькі цеплаты вылучыцца пры поўным згаранні каменнага вугалю маркі А-I масай $m = 10{,}0$ кг?

2. Ці аднолькава нагрэецца печ, калі ў ёй спаліць сухія дровы масай $m_1 = 14{,}5$ кг або торф масай $m_2 = 8{,}00$ кг? Час згарання лічыце аднолькавым.

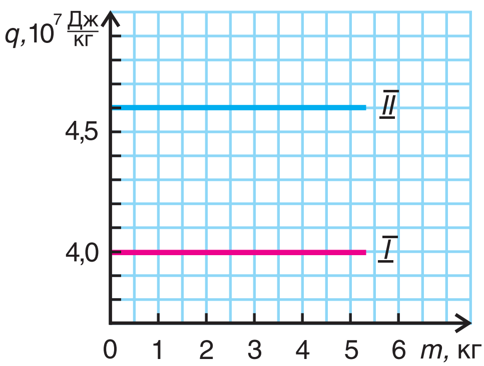
3. Пры згаранні паліва масай $m = 50$ кг вылучылася $Q = 750$ МДж цеплаты. Якое гэта паліва?

4. Адна літровая бутэлька запоўнена бензінам, а другая — газай. Ці аднолькавая колькасць цеплаты вылучыцца пры поўным згаранні змесціва кожнай з бутэлек?



Мал. 53

5. Залежнасць цеплаты, якая вылучаецца пры згаранні двух відаў паліва, ад іх масы паказана на графіках I і II (мал. 53). Чаму роўна ўдзельная цеплата згарання кожнага паліва? У колькі разоў колькасць цеплаты, якая вылучаецца пры згаранні аднаго паліва, большая за колькасць цеплаты, што вылучаецца пры згаранні другога, калі іх масы $m_1 = m_2 = 0{,}3$ кг? Вызначце віды паліва.



Мал. 54

6. Выкарыстоўваючы графікі залежнасці ўдзельнай цеплаты згарання паліва I і II ад іх масы (мал. 54), вызначце сумарную колькасць цеплаты, якая вылучылася пры згаранні паліва I масай $m_1 = 2{,}00$ кг і паліва II масай $m_2 = 3{,}00$ кг. Вызначце віды паліва.



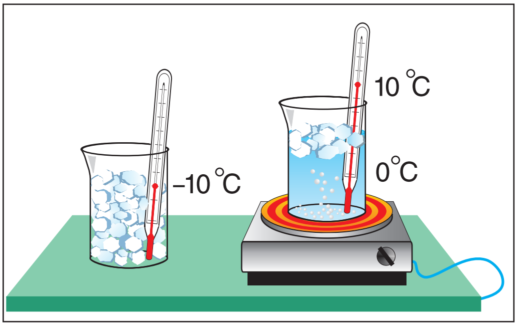
7. Якая маса пораху павінна быць спалена для атрымання энергіі, роўнай энергіі кулі масай $m = 10{,}0$ г, што ляціць са скорасцю $v = 600\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Ці будзе куля рэальна мець такую скорасць, калі ў яе патроне згарыць порах разлічанай масы?

§ 9. Плаўленне і крышталізацыя

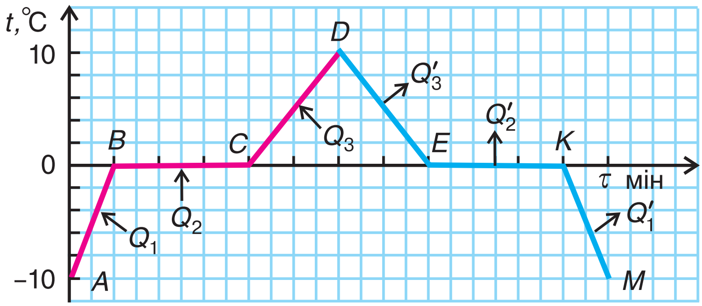
Пры цеплаперадачы ўнутраная энергія цела змяняецца. Часцей за ўсё гэта звязана са змяненнем тэмпературы. Але пры гэтым агрэгатны стан рэчыва застаецца ранейшым. Аднак існуюць працэсы, пры якіх унутраная энергія рэчыва пры атрыманні цеплаты павялічваецца, а тэмпература застаецца пастаяннай.

Да такіх працэсаў адносяцца *плаўленне* і *крышталізацыя* (зацвердзяванне). Вывучым гэтыя працэсы з дапамогай доследу. У шклянку змесцім кавалачкі лёду

з маразільнай камеры, ахалоджаныя да мінусавай тэмпературы, напрыклад –10 °C. Уставім у шклянку тэрмометр (мал. 55) і пачнём награваць. Тэмпература лёду павышаецца. Ён награваецца. Унутраная энергія лёду павялічваецца за кошт кінетычнай энергіі яго малекул. Змяненне тэмпературы рэчыва ў шклянцы з цягам часу будзем паказваць на графіку (мал. 56). Участак *AB* адпавядае награванню лёду ад –10 °C да 0 °C. Пры далейшай перадачы лёду цеплаты яго тэмпература застаецца пастаяннай, роўнай 0 °C. На што ж ідзе атрыманая лёдам цеплата? Назіранні паказваюць, што крышталічны лёд ператвараецца ў ваду.



Мал. 55



Мал. 56

Працэс пераходу рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі называецца плаўленнем.

Атрыманая ад пліткі цеплата па-ранейшаму ператвараецца ва ўнутраную энергію рэчыва, павялічваючы яе. Гэта павелічэнне адбываецца за кошт змянення патэнцыяльнай энергіі ўзаемадзеяння часціц пры разбурэнні крышталя. Кінетычная ж энергія не змяняецца, паколькі тэмпература пастаянная. Аналагічна адбываецца працэс плаўлення большасці крышталічных рэчываў: жалеза, медзі, сталі і г. д.

Тэмпература, пры якой рэчыва пераходзіць з цвёрдага стану ў вадкі, г. зн. плавіцца, называецца тэмпературай плаўлення.

Тэмпература плаўлення ў розных крышталічных рэчываў неаднолькавая (табл. 3). Яна вельмі высокая ў вальфраму і вельмі нізкая ў вадароду.

Працягнем дослед. Як толькі ўвесь лёд расплавіцца, тэмпература вады ў шклянцы пачне нарастаць (участак *CD*, гл. мал. 56). На ўсіх участках працэсу цеплата паглынаецца рэчывам (лёдам, вадой).

А цяпер знімем шклянку з пліткі, паставім у маразільную камеру і будзем перыядычна назіраць за паказаннямі тэрмометра і станам рэчыва. Вада спачатку астывае да 0 °C (участак DE). Яе ўнутраная энергія памяншаецца, цеплата Q'_3 *вылучаецца*, прычым $|Q'_3| = Q_3$. Затым адбываецца працэс крышталізацыі (участак EK), тэмпература застаецца пастаяннай, і яе значэнне роўна 0 °C. Вада ператвараецца ў лёд. Цеплата Q'_2 вылучаецца, $|Q'_2| = Q_2$. Участак KM (гл. мал. 56) адпавядае ахаладжэнню лёду да тэмпературы ў камеры.

Працэс пераходу рэчыва з вадкага стану ў цвёрды называецца крышталізацыяй.

Звярніце ўвагу, што **тэмпература плаўлення і тэмпература крышталізацыі аднолькавыя**. Напрыклад, калі волава плавіцца пры тэмпературы 232 °C (гл. табл. 3), то і зацвердзяваць яно будзе пры тэмпературы 232 °C.

Табліца 3. **Тэмпература плаўлення і ўдзельная цеплата плаўлення (крышталізацыі) некаторых рэчываў (пры нармальным атмасферным ціску)**

Рэчыва	Тэмпература плаўлення t, °C	Удзельная цеплата плаўлення λ, $\frac{Дж}{кг}$	Рэчыва	Тэмпература плаўлення t, °C	Удзельная цеплата плаўлення λ, $\frac{Дж}{кг}$
Вальфрам	3387	$184\,000 = 1{,}84 \cdot 10^5$	Свінец	327	$24\,700 = 2{,}47 \cdot 10^4$
Плаціна	1772	$113\,000 = 1{,}13 \cdot 10^5$	Волава	232	$60\,300 = 6{,}03 \cdot 10^4$
Жалеза	1539	$270\,000 = 2{,}70 \cdot 10^5$	Лёд	0	$333\,000 = 3{,}33 \cdot 10^5$
Сталь	1500	$84\,000 = 8{,}40 \cdot 10^4$	Ртуць	–39	$11\,800 = 1{,}18 \cdot 10^4$
Медзь	1085	$210\,000 = 2{,}10 \cdot 10^5$	Спірт	–114	$11\,000 = 1{,}10 \cdot 10^4$
Золата	1064	$67\,000 = 6{,}70 \cdot 10^4$	Азот	–210	$25\,500 = 2{,}55 \cdot 10^4$
Серабро	962	$87\,000 = 8{,}70 \cdot 10^4$	Кісларод	–219	$14\,000 = 1{,}40 \cdot 10^4$
Алюміній	660	$390\,000 = 3{,}90 \cdot 10^5$	Вадарод	–259	$58\,200 = 5{,}82 \cdot 10^4$

У табліцы паказаны тэмпературы плаўлення рэчываў пры нармальным атмасферным ціску. І гэта не выпадкова. Для большасці рэчываў з павелічэннем ціску тэмпература плаўлення павялічваецца. Але для лёду — наадварот: пры павышэнні ціску лёд можа плавіцца, напрыклад пры тэмпературы −5 °C.

Паняцці «тэмпература плаўлення» і «тэмпература крышталізацыі» прымяняльныя не да ўсіх рэчываў. Сагрэўшы рукой кавалак халоднага цвёрдага пластыліну, мы адчуем паступовае памяншэнне яго цвёрдасці. Працягваючы награванне на якім-небудзь награвальніку, можна перавесці пластылін у стан вязкай вадкасці. Але мы не выявім пэўнай тэмпературы плаўлення.

Мал. 57



Мал. 58



Тое ж самае адбываецца пры награванні шкла (мал. 57). Назіраецца непарыўнае памяншэнне цвёрдасці шкла і павелічэнне цякучасці. Прычына такіх паводзін названых рэчываў (іх называюць аморфнымі) у адсутнасці ў іх будове правільнага размяшчэння часціц (малекул, атамаў), якое паўтараецца. Паняцці «тэмпература плаўлення» і «тэмпература крышталізацыі» прымяняльныя толькі да цел, якія маюць крышталічную будову.

Тэмпературу плаўлення даводзіцца ўлічваць пры стварэнні бытавой і прамысловай тэхнікі. Спіралі лямпачак (мал. 58), награвальных элементаў вырабляюць з тугаплаўкіх матэрыялаў. У самалётабудаванні, у ракетнай і касмічнай прамысловасці выкарыстоўваюць матэрыялы з высокай тэмпературай плаўлення. Растлумачце прычыну гэтага.

Галоўныя вывады

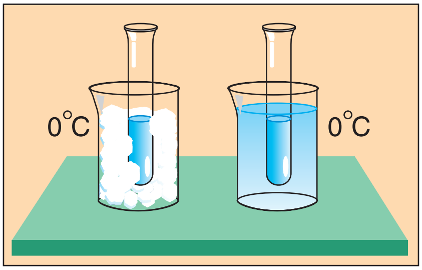
1. Для пераходу крышталічнага рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі, яно павінна быць нагрэта да тэмпературы плаўлення.
2. У працэсах плаўлення і крышталізацыі тэмпература рэчыва не змяняецца.
3. Тэмпературы плаўлення і крышталізацыі аднолькавыя.
4. Пры плаўленні рэчыва паглынае энергію, а пры крышталізацыі такая ж энергія вылучаецца.

Кантрольныя пытанні

1. Які працэс называецца плаўленнем? Крышталізацыяй?
2. Да якіх цел прымяняльны тэрміны «плаўленне» і «крышталізацыя»?
3. Як растлумачыць пастаянства тэмпературы пры плаўленні цела? На што расходуецца пры гэтым энергія, якая падводзіцца?

4. Як змяняецца ўнутраная энергія пры пераходах цвёрдае рэчыва — вадкасць і вадкасць — цвёрдае рэчыва? Ці роўныя змяненні ўнутранай энергіі пры гэтых пераходах?

5. Ці замерзне вада ў якой-небудзь з прабірак, паказаных на малюнку 59? Адказ абгрунтуйце.



Мал. 59

§ 10. Удзельная цеплата плаўлення і крышталізацыі

Як вызначыць колькасць цеплаты, якую павінна паглынуць цвёрдае цела масай m, каб перайсці ў вадкасць, г. зн. расплавіцца? Яшчэ раз звяртаем вашу ўвагу на тое, што тэмпература ў час плаўлення не змяняецца (гл. мал. 56, участак BC), але цеплата целу надаецца. Значыць, яна ідзе на разбурэнне крышталічнай упарадкаванай структуры рэчыва.

Фізічная велічыня, лікава роўная колькасці цеплаты, якую трэба перадаць цвёрдаму целу масай 1 кг пры тэмпературы плаўлення для пераходу ў вадкасць, называецца ўдзельнай цеплатой плаўлення.

Удзельная цеплата плаўлення абазначаецца грэчаскай літарай λ (лямбда).

Каб расплавіць цвёрдае цела масай 2 кг, яму трэба перадаць энергіі (цеплаты) Q у 2 разы больш. А калі маса цела роўна m? Відавочна, для пераходу ў вадкасць цела павінна атрымаць цеплаты Q у m разоў больш, г. зн.

$$Q = \lambda m.$$

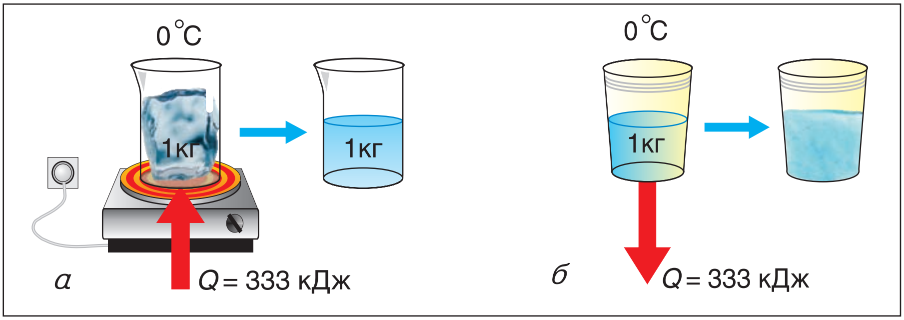
З формулы вынікае, што ўдзельная цеплата плаўлення вызначаецца як

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

У СІ адзінкай удзельнай цеплаты плаўлення з'яўляецца **1 джоўль на кілаграм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Розныя рэчывы маюць розную ўдзельную цеплату плаўлення λ, значэнні якой паказаны ў табліцы 3.

Як вынікае з табліцы, λ для ртуці роўна 11 800 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Гэта азначае, што для пераходу масы ртуці $m = 1$ кг, якая мае тэмпературу $t = -39$ °C, з цвёрдага стану



Мал. 60

ў вадкі ртуць павінна паглынуць $Q = 11\ 800$ Дж энергіі. Больш за ўсё цеплаты для плаўлення масы $m = 1$ кг патрабуецца лёду — $\lambda = 333\ 000\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (мал. 60, *а*). Але пры замярзанні вады пры тэмпературы $t = 0$ °С столькі ж цеплаты вылучае кожны кілаграм вады (мал. 60, *б*).

Вялікая ўдзельная цеплата плаўлення тлумачыць маруднае раставанне лёду на азёрах, рэках і іншых вадаёмах. А паколькі цеплату лёд паглынае з навакольнага асяроддзя, то надвор'е ў гэты час, як правіла, халаднаватае. І наадварот, пры замярзанні азёр, рэк і іншых вадаёмаў (мал. 61) вылучаецца вялікая колькасць энергіі, што робіць больш цёплым позняе восеньскае надвор'е, а клімат паблізу мораў і акіянаў — больш умераным.


Мал. 61

Галоўныя вывады

1. Пры пераходзе 1 кг рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі паглынаецца колькасць цеплаты, лікава роўная ўдзельнай цеплаце плаўлення λ, і роўна столькі ж вылучаецца пры яго пераходзе з вадкага стану ў цвёрды.
2. Тэмпературы плаўлення і крышталізацыі для дадзенага рэчыва аднолькавыя.
3. Удзельная цеплата плаўлення ў розных рэчываў розная.

Кантрольныя пытанні

1. Ад чаго залежыць колькасць цеплаты, неабходная для пераходу ў вадкі стан цвёрдага цела?
2. Што называецца ўдзельнай цеплатой плаўлення? Назавіце адзінку яе вымярэння.

3. Што абазначае выраз: «Удзельная цеплата плаўлення волава $\lambda = 60\ 300\ \frac{Дж}{кг}$»?

4. Удзельная цеплата плаўлення рэчыва роўна $\lambda = 58\ 200\ \frac{Дж}{кг}$. Якое гэта рэчыва? Якая ў яго тэмпература плаўлення?

5. Як правільна прачытаць формулу $\lambda = \frac{Q}{m}$: а) удзельная цеплата плаўлення прама прапарцыянальна колькасці цеплаты і адваротна прапарцыянальна масе цела; б) удзельная цеплата плаўлення лікава роўна колькасці цеплаты, неабходнай для плаўлення адзінкі масы рэчыва?

Прыклад рашэння задачы

У гарачую ваду пры тэмпературы $t_1 = 90$ °C апусцілі кубік лёду масай $m_2 = 0{,}20$ кг, які мае тэмпературу $t_2 = -10$ °C. Канчатковая тэмпература вады стала $t = 20$ °C. Вызначце масу гарачай вады. Страты цеплаты не прымайце да ўвагі.

Дадзена:

$m_2 = 0{,}20$ кг

$t_2 = -10$ °C

$t_1 = 90$ °C

$t_{пл} = 0{,}0$ °C

$t = 20$ °C

$c_в = 4{,}2 \cdot 10^3\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$

$c_л = 2{,}1 \cdot 10^3\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$

$\lambda = 3{,}33 \cdot 10^5\ \frac{Дж}{кг}$

m_1 — ?

Рашэнне

Саставім ураўненне цеплавога балансу:

$$|Q_{ад}| = Q_{атр}.$$

Аддавала цеплату гарачая вада пры ахаладжэнні ад тэмпературы t_1 да тэмпературы t:

$$Q_{ад} = c_в m_1 (t_1 - t).$$

Лёд атрымаў цеплату, за кошт якой ён нагрэўся ад t_2 да $t_{пл}$ і ператварыўся ў ваду, і атрыманая вада нагрэлася ад тэмпературы $t_{пл}$ да тэмпературы t:

$$Q_{атр} = Q_{нагр.\ лёду} + Q_{пл} + Q_{нагр.\ вады}.$$

$$Q_{атр} = c_л m_2 (t_{пл} - t_2) + \lambda m_2 + c_в m_2 (t - t_{пл}).$$

Або:

$$c_в m_1 (t_1 - t) = -c_л m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_в m_2 t;$$

$$m_1 = \frac{-c_л m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_в m_2 t}{c_в (t_1 - t)}.$$

Падставіўшы лікавыя даныя, атрымаем:

$$m_1 = 0{,}3 \text{ кг}.$$

Адказ: $m_1 = 0{,}3$ кг.

Практыкаванне 8

1. Ці можна жалезны цвік расплавіць у алавяным кубку? Адказ абгрунтуйце.

2. У колькі разоў адрозніваюцца колькасці цеплаты, якія вылучаюцца пры крышталізацыі 1 кг медзі і 1 кг жалеза?

3. У якім стане пры атмасферным ціску знаходзіцца свінец і азот, калі іх тэмпературы роўны адпаведна $t_{св} = +330$ °C і $t_{азоту} = -215$ °C? Чаму?

4. Кавалак лёду прынеслі з вуліцы, дзе тэмпература $t_1 = -5$ °C, пад павець, тэмпература ў якой $t_2 = 0$ °C. Ці будзе раставаць лёд? Чаму?

5. На колькі павялічыцца пры плаўленні ўнутраная энергія серабра масай $m = 2{,}00$ кг?

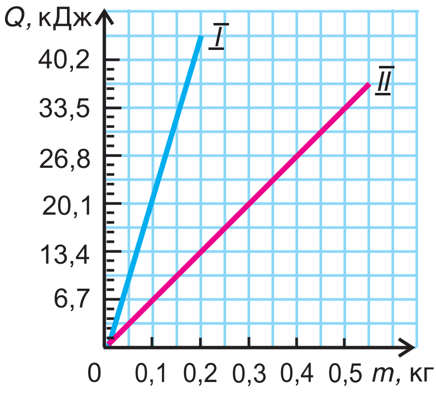
6. Чаму ртуць не выкарыстоўваецца ў бытавых тэрмометрах для вымярэння тэмпературы паветра ў паўночных раёнах?

7. Да якой тэмпературы трэба нагрэць жалезны куб (мал. 62), каб ён, змешчаны на лёд пры тэмпературы $t = 0{,}0$ °C, цалкам у яго апусціўся? Лічыце, што ўся цеплата, аддадзеная кубам пры ахаладжэнні, пайшла на плаўленне лёду.



Мал. 62

8. Залежнасць колькасці паглынутай цеплаты ад масы для двух рэчываў пры іх плаўленні паказана на малюнку 63. Вызначце ўдзельную цеплату плаўлення абодвух рэчываў. Што гэта за рэчывы? Колькі цеплаты вылучыцца пры крышталізацыі рэчыва II масай $m = 2{,}00$ кг?



Мал. 63

9. Колькі цеплаты спатрэбіцца, каб расплавіць лёд масай $m = 3{,}0$ кг, які знаходзіцца пры тэмпературы $t = -10$ °C? Пабудуйце графік залежнасці колькасці падведзенай для гэтага цеплаты Q ад тэмпературы t рэчыва.

10. Для плаўлення сталі, якая мае пачатковую тэмпературу $t_1 = 20$ °C, былі спалены каменны вугаль (маркі А-I) масай $m = 20$ кг. Якая маса сталі расплавілася, калі на плаўленне затрачана 50 % цеплаты, атрыманай ад згарання вугалю?

11. На дзвюх аднолькавых гарэлках плавяцца лёд і волава, масы якіх роўны $m_1 = m_2 = 100$ г. У якой пасудзіне плаўленне закончыцца раней? Пачатковыя тэмпературы волава і лёду аднолькавыя $t_1 = t_2 = 0$ °C.

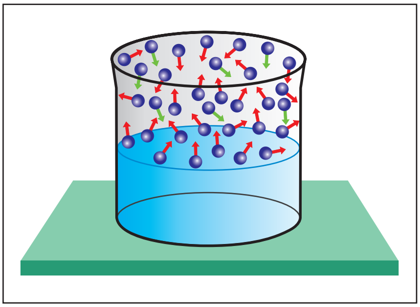


12. Пры тэмпературы паветра $t = -10$ °C кожны квадратны метр паверхні сажалкі вылучае $Q = 180$ кДж цеплаты ў гадзіну. Якой таўшчыні лёд утворыцца за прамежак часу $\Delta\tau = 2$ г, калі тэмпература вады каля паверхні сажалкі $t = 0$ °C?

§ 11. Выпарэнне вадкасцей. Фактары, якія ўплываюць на скорасць выпарэння

Ці задумваліся вы над пытаннем: чаму сохне мокрае адзенне? Чаму ў ветранае надвор'е яно высыхае значна хутчэй, чым у ціхае халоднае? А калі пакінуць адкрытым флакон духоў, то вельмі хутка ён можа аказацца пустым. Чаму? Паспрабуем адказаць на гэтыя пытанні.

Нагадаем, што малекулы рэчыва ў любым яго стане знаходзяцца ў бесперапынным руху. Іх скорасці змяняюцца самым выпадковым чынам. Малекула вадкасці, якая мае большую скорасць, валодае большай кінетычнай энергіяй. Такая малекула можа пераадолець сілы прыцяжэння да іншых малекул і пакінуць вадкасць (мал. 64).



Мал. 64

Паколькі малекулы з большай энергіяй ёсць заўсёды, то з часам колькасць вадкасці будзе памяншацца, а над вадкасцю будзе ўтварацца пара (газ).

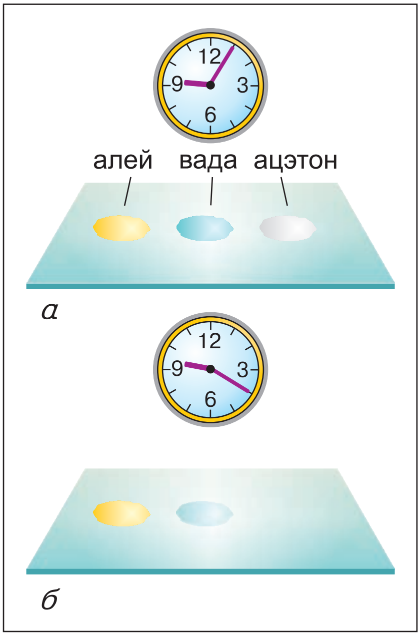
Працэс пераходу рэчыва з вадкага стану ў газападобны называецца параўтварэннем.

У фізіцы адрозніваюць два віды параўтварэння: *выпарэнне* і *кіпенне*. **Выпарэнне — гэта параўтварэнне, якое адбываецца са свабоднай паверхні вадкасці.**

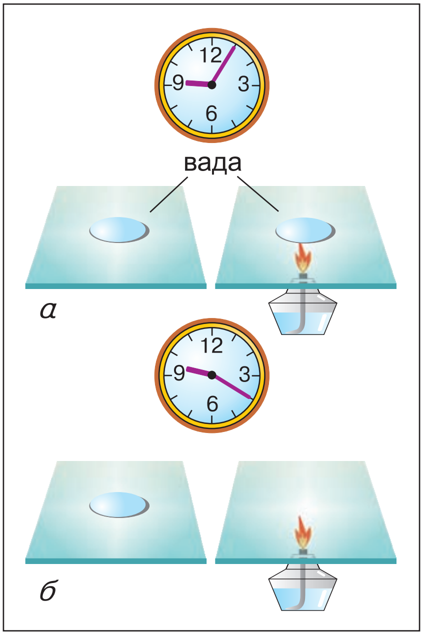
Пры выпарэнні вадкасць пакідаюць малекулы з большай энергіяй. Энергія вадкасці памяншаецца. Значыць, і тэмпература вадкасці памяншаецца. Праверце гэта на доследзе. Капніце на далонь кроплю эфіру або ацэтону. Вы адчуеце холад. Гэта адбываецца таму, што пры выпарэнні эфір (ацэтон) ахалоджваецца і забірае ў далоні цеплату.

Ад чаго залежыць скорасць выпарэння?

Правядзём дослед. На шкло нанясём тампонам вільготныя плямы аднолькавых памераў у такой паслядоўнасці: алей, вада, ацэтон (эфір) (мал. 65, *а*, *б*).



Мал. 65

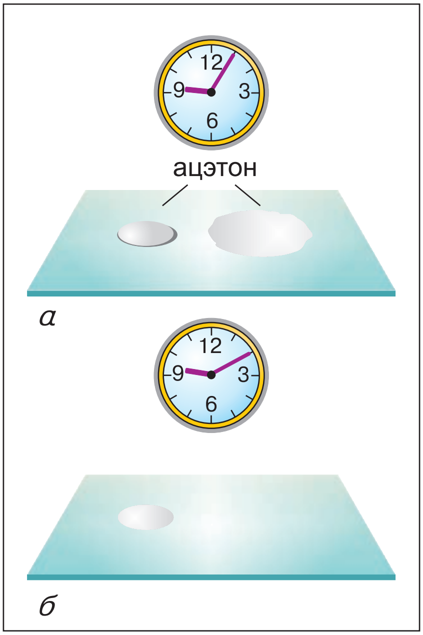


Мал. 66

Першым знікне пляма ацэтону, затым вады. Пляма алею захоўваецца доўга. Адсюль вынікае вывад, што **скорасць выпарэння розных вадкасцей неаднолькавая**. Гэта і зразумела: у розных вадкасцей сілы ўзаемадзеяння малекул неаднолькавыя.

Прадоўжым дослед. Адну шкляную пласцінку возьмем халодную, а другую нагрэем і нанясём на іх дзве аднолькавыя кроплі ацэтону або вады (мал. 66, *а*, *б*). З нагрэтага шкла кропля знікне хутчэй, чым з халоднага. **Чым вышэй тэмпература вадкасці, тым большая скорасць выпарэння.**

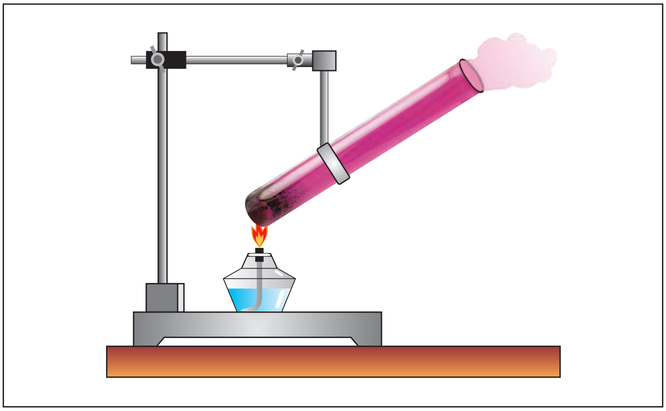
А цяпер капнем на шкло дзве кроплі ацэтону. Размажам адну кроплю так, каб утварылася пляма (мал. 67, *а*, *б*). Пляма ацэтону выпарыцца хутчэй. Значыць, **чым большая плошча свабоднай паверхні вадкасці, тым большая скорасць выпарэння**.



Мал. 67



Мал. 68



Мал. 69

Нарэшце, на два кавалкі шкла нанясём па кроплі ацэтону, але адно шкло будзем абмахваць кардонным веерам. Кропля з гэтага шкла выпарыцца хутчэй. Чаму? Пры выпарэнні малекулы не толькі пакідаюць паверхню вадкасці, але і вяртаюцца назад. Вецер жа адносіць малекулы, якія вылецелі (мал. 68).

Працэс выпарэння знаходзіць практычнае прымяненне ў тэхніцы. Залежнасць скорасці выпарэння ад роду вадкасці выкарыстоўваюць для раздзялення сумесі вадкасцей на асобныя кампаненты. У аснове работы халадзільных установак, сушыльных машын ляжыць працэс выпарэння. У касманаўтыцы выпарэнне рэчыва, якім пакрываюць спускаемы апарат, ахалоджвае яго і ахоўвае ад перагрэву пры трапленні ў шчыльныя слаі атмасферы.

А ці выпараюцца цвёрдыя рэчывы? Змесцім у прабірку крышталікі ёду і будзем награваць над полымем спіртоўкі (мал. 69). Праз некаторы час крышталікі ёду выпарацца. Значыць, цвёрдыя целы таксама выпараюцца. Знікае іней на дрэвах у ясны марозны дзень (мал. 70), бялізна высыхае нават на моцным марозе.



Мал. 70

Галоўныя вывады

1. Выпарэнне выклікае ахаладжэнне вадкасцей.

2. Выпарэнне вадкасцей адбываецца пры любой тэмпературы.

3. Скорасць выпарэння залежыць ад роду вадкасці, яе тэмпературы, плошчы свабоднай паверхні і ад прытоку паветра.

Кантрольныя пытанні

1. Які працэс з'яўляецца выпарэннем?
2. Чаму пры выпарэнні вадкасць ахалоджваецца?
3. Якая складальная ўнутранай энергіі вадкасці (кінетычная або патэнцыяльная) змяняецца пры выпарэнні вадкасцей без падачы цеплаты знадворку? Чаму?
4. Чаму скорасць выпарэння розных вадкасцей неаднолькавая?
5. Памяшканне, у якім разлілі ртуць, небяспечнае для пражывання доўгія гады, калі спецыяльная служба папярэдне яго не ачысціла. Чаму?

Практыкаванне 9

1. У якім флаконе — з вузкім ці шырокім рыльцам — духі захоўваюцца даўжэй? Чаму?

2. Чаму пры адной і той жа тэмпературы ў бязветранае надвор'е бялізна сохне больш марудна, чым пры моцным ветры?

3. Каб у гарачае надвор'е захаваць ваду халоднай, пасудзіну з вадой абгортваюць мокрай тканінай. Навошта гэта робяць?

4. Ці будзе вада выпарацца з адкрытай пасудзіны, калі яе перанесці з цёплага пакоя ($t_1 = 20$ °C) на вуліцу ($t_2 = 2$ °C)?

5. На вагах ураўнаважаны шклянкі з вадой і ацэтонам. Ці парушыцца раўнавага вагаў праз некаторы час? Чаму?

6. Чаму купальшчык, выйшаўшы з вады, адчувае холад?

7. Якое значэнне для жыццядзейнасці чалавека мае потавыдзяленне?

8. Растлумачце дзеянне «паветранага ручніка» (струмень цёплага паветра), які прымяняецца для сушкі мокрых рук.

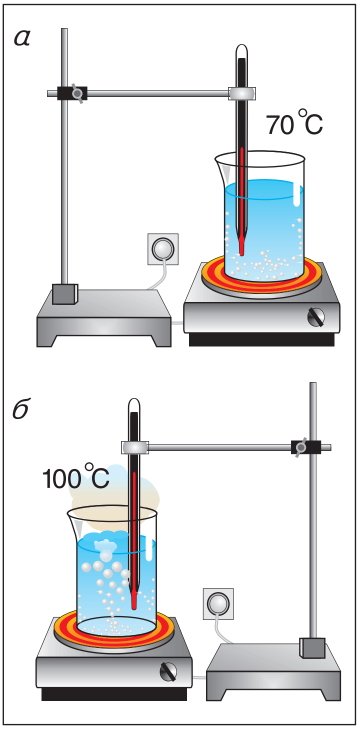
9. Пры высокай тэмпературы цела хворага трэба працерці растворам спірту. Навошта гэта трэба рабіць?



10. Калі наліць у пасудзіну крыху вады, а зверху — эфіру і помпай адпампоўваць пару эфіру, то вада ў пасудзіне замярзае. Растлумачце гэту з'яву.

§ 12. Кіпенне вадкасцей. Удзельная цеплата параўтварэння

Вы ўжо ведаеце, што выпарэнне вадкасці адбываецца пры любой тэмпературы і выклікае яе ахаладжэнне. А як будзе адбывацца выпарэнне, калі вадкасці перадаваць энергію, г. зн. падводзіць цеплату?



Мал. 71

Правядзём такі дослед. Паставім на электраплітку шклянку з вадой (мал. 71, *а*). Па тэрмометры будзем сачыць за змяненнем тэмпературы вады ў шклянцы. Тэмпература вады спачатку нарастае. На дне шклянкі з'яўляецца мноства маленькіх бурбалак. Іх памеры паступова павялічваюцца, паколькі вада выпараецца ўнутр бурбалак і ціск пары ў бурбалках пры награванні павышаецца. Бурбалкі адрываюцца ад дна і сценак і рухаюцца ўверх. А што далей? Калі ціск пары ўнутры бурбалкі большы, чым над вадкасцю, яна разрываецца, і пара выходзіць вонкі. Паглядзім на тэрмометр. Ён паказвае тэмпературу, блізкую да 100 °С, і яна практычна не змяняецца. А бурбалак усё больш і больш падымаецца і лопаецца каля паверхні, выкідваючы пару ў атмасферу. Вада кіпіць (мал. 71, *б*).

Кіпенне — гэта працэс параўтварэння, які ідзе па ўсім аб'ёме вадкасці. Сапраўды, любую бурбалку можна разглядаць як пасудзіну з парай унутры вадкасці (мал. 72), з паверхні сценак якой ідзе выпарэнне і адваротны працэс — вяртанне малекул у вадкасць, г. зн. *кандэнсацыя*.



Мал. 72

Пры кіпенні тэмпература вадкасці не змяняецца. Але ж энергія (ад нагрэтай пліткі) вадкасцю паглынаецца. На што траціцца гэта энергія? Энергія, атрыманая вадкасцю, ідзе на ператварэнне яе ў пару (газ), г. зн. на пераадоленне сіл прыцяжэння паміж малекуламі вадкасці.

Пры адваротным працэсе — **пераходзе пары ў вадкасць** (мал. 73), або **кандэнсацыі**, гэта ж колькасць энергіі вылучаецца.

Тэмпература, пры якой адбываецца кіпенне вадкасці, называецца тэмпературай кіпення.

Тэмпература кіпення ў розных вадкасцей неаднолькавая. Гэта і зразумела, бо розная энергія ўзаемадзеяння малекул.

У табліцы 4 прыведзены тэмпературы кіпення вадкасцей пры нармальным атмасферным ціску.

А ці выпадкова мы, гаворачы аб тэмпературы кіпення вадкасці, называем ціск? Не, не выпадкова. Бурбалкі вадкасці, што кіпіць, лопаюцца пры ўмове, што ціск пары ў іх не меншы, чым знадворку. Значыць, **чым меншы знешні ціск, тым пры больш нізкай тэмпературы закіпіць вадкасць**.

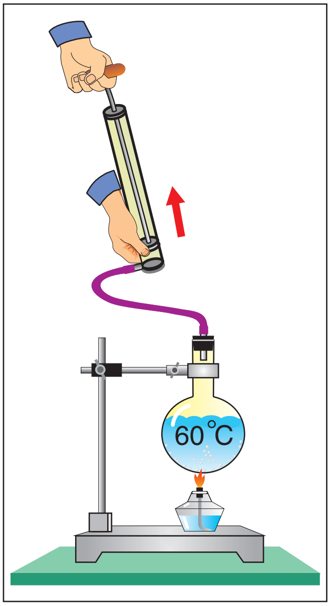
Пацвердзім гэта доследам. Нальём у колбу цёплай вады, тэмпература якой $t = 50—60$ °C. Закрыем колбу і далучым да помпы (мал. 74). Адпампуем газ з колбы. Вада закіпіць, хоць яе тэмпература меншая за 100 °C. Але гэта не значыць, што ў такой вадзе можна зварыць яйцо. Яйцо варыцца не таму, што вада кіпіць, а таму, што яна гарачая.

А калі ў спецыяльных умовах стварыць высокі ціск над паверхняй вады, то ў ёй можна будзе расплавіць волава, але вада так і не будзе кіпець. Растлумачце чаму.

Залежнасць тэмпературы кіпення ад знешняга ціску выкарыстоўваецца ў практычных мэтах. Напрыклад, для стэрылізацыі медыцынскіх інструментаў іх змяшчаюць у герметычна закрытыя камеры-аўтаклавы (мал. 75), вада ў якіх кіпіць пры тэмпературы, значна вышэйшай за 100 °C. Магутныя паравыя турбіны працуюць пры ціску, у 200 разоў большым за атмасферны, і тэмпературы, якая перавышае тэмпературу кіпення вады пры нармальным ціску ў 6 разоў, што істотна павышае іх ККДз. У быце выкарыстоўваюцца каструлі-скараваркі (мал. 76). У такіх



Мал. 73



Мал. 74



Мал. 75



Мал. 76

каструлях ціск пары ў два разы большы за атмасферны і тэмпература кіпення вады дасягае ≈ 120 °C. Ежа варыцца значна хутчэй, чым у звычайных каструлях.

Вернемся да параўтварэння. Кабператварыць у пару 1 кг вадкасці пры тэмпературы кіпення, неабходна перадаць ёй пэўную колькасць цеплаты. А калі маса вадкасці будзе 2 кг? Значыць, цеплаты спатрэбіцца ў 2 разы больш. А пры ператварэнні ў пару *m* кг вадкасці колькасць цеплаты павялічыцца ў *m* разоў, г. зн. **колькасць цеплаты, неабходная для параўтварэння, прама прапарцыянальна масе вадкасці**:

$$\boldsymbol{Q = Lm.}$$

У гэтай формуле каэфіцыент $\boldsymbol{L}$ называецца *ўдзельнай цеплатой параўтварэння*:

$$\boldsymbol{L = \frac{Q}{m}}.$$

Як вынікае з гэтай формулы, адзінкай удзельнай цеплаты параўтварэння ў СІ з'яўляецца **1 джоўль на кілаграм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Табліца 4. **Тэмпература кіпення і ўдзельная цеплата параўтварэння некаторых вадкасцей (пры нармальным атмасферным ціску)**

Рэчыва	Тэмпература кіпення t, °C	Удзельная цеплата параўтварэння L, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Паветра	−192	$210\,000 = 2{,}1 \cdot 10^5$
Аміяк	−33,4	$1\,370\,000 = 1{,}37 \cdot 10^6$
Эфір	35	$352\,000 = 3{,}52 \cdot 10^5$
Ацэтон	56,2	$520\,000 = 5{,}2 \cdot 10^5$
Спірт	78	$857\,000 = 8{,}57 \cdot 10^5$
Вада	100	$2\,260\,000 = 2{,}26 \cdot 10^6$
Ртуць	357	$285\,000 = 2{,}85 \cdot 10^5$
Жалеза	3050	$58\,000 = 5{,}8 \cdot 10^4$

Удзельная цеплата параўтварэння ёсць фізічная велічыня, лікава роўная колькасці цеплаты, паглынутай 1 кг вадкасці пры пераходзе яе ў пару пры тэмпературы кіпення.

Удзельная цеплата параўтварэння розных вадкасцей дадзена ў табліцы 4.

Што азначае $L = 2{,}26 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ для вады? А гэта азначае, што 1 кг вады пры тэмпературы 100 °C павінен паглынуць $2{,}26 \cdot 10^6$ Дж энергіі (цеплаты), каб перайсці ў газ (пару) з гэтай жа тэмпературай.

Можна сказаць і інакш: $L = 2{,}26 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ — гэта колькасць цеплаты, якая вылучаецца пры кандэнсацыі 1 кг пары пры тэмпературы кіпення (100 °C).

Галоўныя вывады

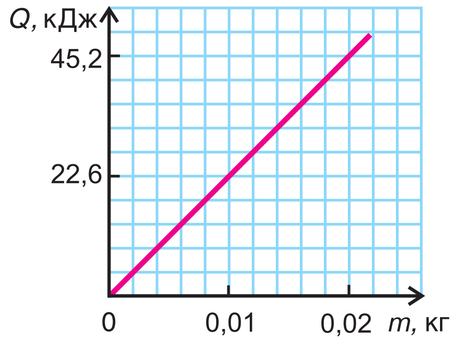
1. Ператварэнне вадкасці ў газ (пару) пры пастаяннай тэмпературы называюць кіпеннем вадкасці.
2. Тэмпература кіпення вадкасці залежыць ад роду вадкасці і знешняга ціску.
3. Чым вышэйшы ціск над паверхняй вадкасці, тым вышэйшая тэмпература кіпення.
4. Пры кіпенні вадкасць паглынае энергію, пры кандэнсацыі пары вылучаецца роўная колькасць энергіі.
5. Значэнне паглынутай пры кіпенні энергіі залежыць ад роду вадкасці і яе масы.

Кантрольныя пытанні

1. Што ўяўляе сабой працэс кіпення вадкасці?
2. Чаму тэмпература вадкасці ў працэсе кіпення не змяняецца?
3. Якія фізічны сэнс мае ўдзельная цеплата параўтварэння?
4. Зыходзячы з формулы $L = \frac{Q}{m}$, ці можна сцвярджаць, што ўдзельная цеплата параўтварэння прама прапарцыянальна колькасці паглынутай цеплаты і адваротна прапарцыянальна масе вадкасці? Адказ абгрунтуйце.
5. Чаму з павелічэннем знешняга ціску тэмпература кіпення вадкасці павышаецца, а з памяншэннем — паніжаецца?
6. Выкарыстоўваючы даныя табліцы 4, зрабіце вывад адносна сіл прыцяжэння паміж малекуламі вады і эфіру (у вадкім стане).

Прыклад рашэння задачы

Графік залежнасці цеплаты параўтварэння некаторай вадкасці ад яе масы паказаны на малюнку 77. Вызначце масу волава, узятага пры тэмпературы $t_1 = 32$ °C, якую можна расплавіць, выкарыстоўваючы цеплату кандэнсацыі пары дадзенай вадкасці масай $m_1 = 0{,}01$ кг, узятай пры тэмпературы кіпення.



Мал. 77

Дадзена:

$m_1 = 0{,}01$ кг

$t_1 = 32$ °C

$t_{пл} = 232$ °C

$c_{вол} = 250\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$

$\lambda = 6{,}03 \cdot 10^4\ \frac{Дж}{кг}$

m — ?

Рашэнне

З графіка знойдзем модуль колькасці цеплаты, якая вылучыцца пры кандэнсацыі пары масай $m_1 = 0{,}01$ кг:

$$|Q_{кан}| = Q_{пар} = 22{,}6\ кДж = 22\,600\ Дж.$$

Для награвання да тэмпературы плаўлення $t_{пл}$ і плаўлення масы m волава неабходна колькасць цеплаты:

$$Q = c_{вол} m (t_{пл} - t_1) + \lambda m.$$

$$|Q_{кан}| = Q.$$

Адкуль:

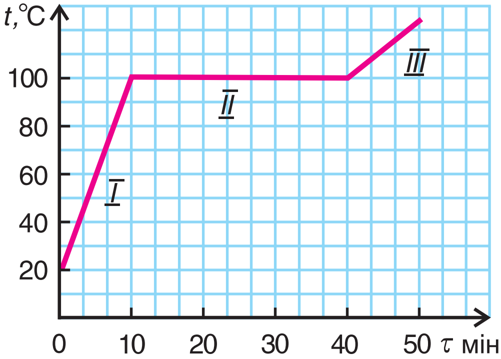
$$m = \frac{Q}{c_{вол}(t_{пл} - t_1) + \lambda};$$

$$t_{пл} - t_1 = 232\ °C - 32\ °C = 200\ °C.$$

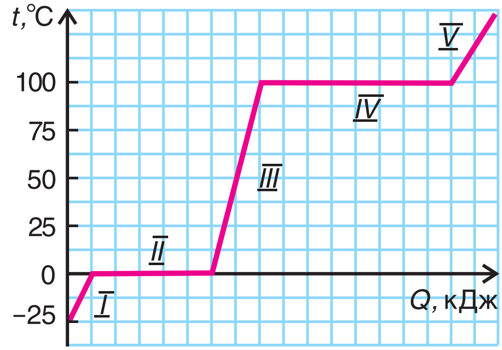
Тады:

$$m = \frac{22\,600\ Дж}{250\ \frac{Дж}{кг \cdot °C} \cdot 200\ °C + 6{,}03 \cdot 10^4\ \frac{Дж}{кг}} = 0{,}2\ кг.$$

Адказ: $m = 0{,}2$ кг.



Мал. 78



Мал. 79

Практыкаванне 10

1. Чаму, выйшаўшы з басейна, нельга доўга заставацца ў мокрым купальніку?

2. Як можна раздзяліць сумесь вадкасцей на асобныя кампаненты?

3. Дзе кавалак мяса зварыўся б на адной і той жа гарэлцы хутчэй — каля падножжа гары Эверэст ці на яе вяршыні? Адказ абгрунтуйце.

4. Які ўчастак графіка (мал. 78) адпавядае працэсу кіпення вады? Якая пачатковая тэмпература вады? Канечная?

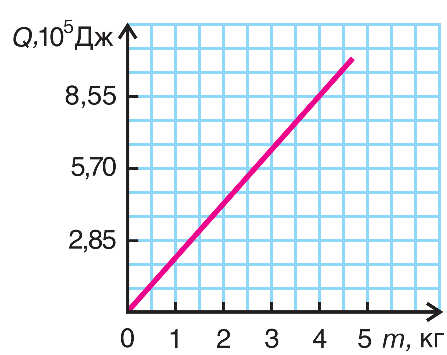
5. Апішыце працэсы, якія адбываюцца ў рэчыве, аналізуючы ўчасткі I–V графіка (мал. 79). Што гэта за рэчыва?

6. Чаму вадзяная пара, пападаючы на скуру, выклікае моцны апёк?

7. Што мае большую энергію: эфір масай $m = 100$ г пры тэмпературы $t = 35$ °C або пара эфіру той жа масы пры той жа тэмпературы?

8. Выкарыстоўваючы графік залежнасці цеплаты, неабходнай для ператварэння вадкасці ў пару (газ), ад масы вадкасці (мал. 80), вызначце ўдзельную цеплату параўтварэння. Якая гэта вадкасць? Колькі цеплаты вылучыцца пры кандэнсацыі пары дадзенай вадкасці масай $m = 3{,}00$ кг?

9. Колькі энергіі неабходна для ператварэння ў пару вады масай $m = 2{,}0$ кг, узятай пры тэмпературы: а) $t_1 = 100$ °C; б) $t_2 = 20$ °C?



Мал. 80

10. Якую масу спірту пры тэмпературы $t = 78$ °C можна ператварыць у пару, калі зрасходаваць на гэта $Q = 8{,}57 \cdot 10^6$ Дж энергіі?

11. Пры кандэнсацыі пары некаторай вадкасці масай $m = 200$ г пры тэмпературы кандэнсацыі вылучылася $Q = 7{,}04 \cdot 10^4$ Дж цеплаты. Чаму роўна ўдзельная цеплата параўтварэння гэтай вадкасці? Якая вадкасць утварылася пры кандэнсацыі?

12. Колькі лёду, узятага пры тэмпературы $t_1 = -10$ °C, можна цалкам расплавіць, калі перадаць яму энергію, якая вылучаецца пры кандэнсацыі вадзяной пары масай $m = 25$ г пры тэмпературы $t_2 = 100$ °C?

13. У каструлі з вадой плавае прабірка, запоўненая вадой. Пры награванні вада ў каструлі закіпае. Ці закіпіць вада ў прабірцы?



2 Электрамагнітныя з’явы

Што агульнае ў мабільнага тэлефона
і маланкі?

Ці можна раздзяліць полюсы магніта?

Чаму свеціць электрычная лямпа?



Цяжка і нават немагчыма ўявіць жыццё без электрычнасці. Мы амаль аўтаматычна націскаем кнопкі выключальнікаў і ўключаем розныя прыборы і тэхнічныя прыстасаванні, якія робяць наша жыццё камфортным. Электралямпы асвятляюць кватэры і вуліцы, электрапліта грэе, а халадзільнік ахалоджвае. Станкі, камп'ютары, радыёпрыёмнікі, тэлевізары, правадны і мабільны тэлефоны і інш. — усе гэтыя прыстасаванні выкарыстоўваюць электрычнасць.

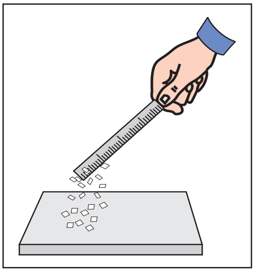
Электрычнасць звязана з магнетызмам. У гэтым раздзеле мы пазнаёмімся з электрамагнітнымі з'явамі.

§ 13. Электрызацыя цел. Узаемадзеянне зарадаў

З электрычнасцю звязана не толькі работа сучасных прыбораў і тэхнічных прыстасаванняў. Яна адыгрывае значна больш важную ролю. Электрычныя сілы ўзаемадзеяння атамаў і малекул адказныя за абмен рэчываў у чалавечым арганізме. Што ж уяўляюць сабой электрычныя з'явы?

Старажытныя грэкі заўважылі, што бурштын, пацёрты кавалкам тканіны, прыцягвае лёгкія целы. Слова «электрычнасць» паходзіць ад грэчаскай назвы бурштыну (*бурштын — электрон*).

Патрыце аб сухую паперу пластмасавае цела (лінейку, расчоску). Яно пачынае прыцягваць лёгкія целы: крошкі пенапласту, дробна парэзаную паперу (мал. 81), пух, лёгкую станіёлевую гільзу (мал. 82).

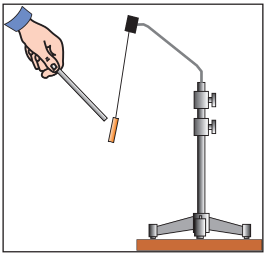


Мал. 81

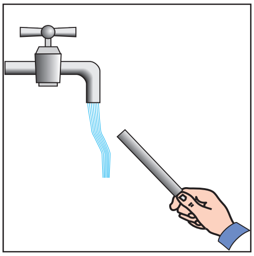
Гаворачы на сучаснай мове, пацёртае цела (пластмаса, шкло, фарфор і г. д.) **электрызуецца**, або набывае **электрычны зарад**.

У шэрагу выпадкаў дзеянне наэлектрызаваных цел можа быць вельмі значным: скрыўленне струменя вады (мал. 83), паварот драўлянай рэйкі (лінейкі) (мал. 84).

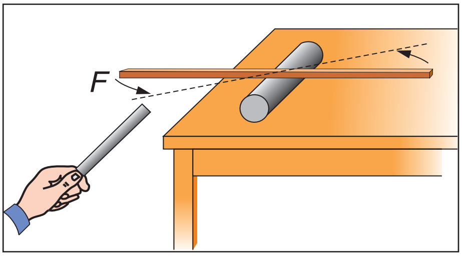
У XVIII ст. былі ўстаноўлены дзве важныя ўласцівасці электрызацыі.



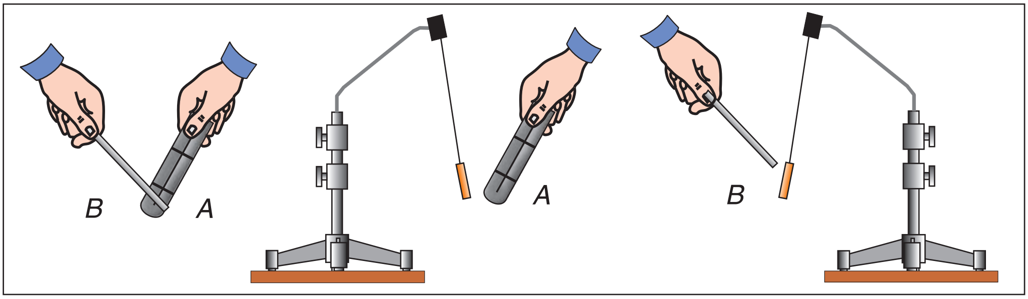
Мал. 82



Мал. 83



Мал. 84



Мал. 85

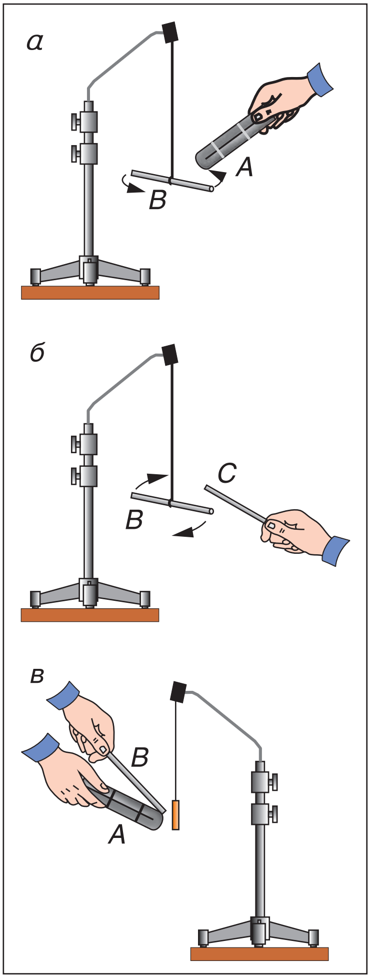
1. Пры трэнні **электрызуюцца**, або набываюць электрычны зарад, **абодва** целы (бурштын і тканіна, пластмасавая лінейка і папера). Само трэнне малаістотнае, яно толькі павялічвае плошчу судакранання цел.

Сказанае мы можам праверыць на доследзе. Патром адно аб адно чыстыя і сухія кавалак рызінавага шланга *A* і шкляную палачку *B*. Абодва целы пасля гэтага прыцягваюць да сябе лёгкую гільзу (мал. 85). Значыць, электрычныя зарады пры трэнні з'явіліся ў абодвух цел.

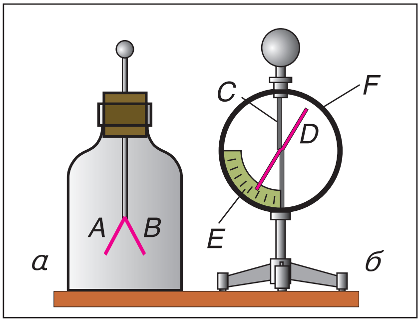
2. Зарады, якія з'яўляюцца на целах, прынцыпова адрозніваюцца адзін ад аднаго. Яны **рознаіменныя**.

У тым, што гэтыя зарады неаднолькавыя, лёгка пераканацца на доследзе. Падвесім на шаўковай нітцы наэлектрызаваную шкляную палачку *B* (мал. 86, *а*). Паднясём да яе наэлектрызаваны кавалак шланга *A*. Шкляная палачка *B* да яго **прыцягваецца**. Але калі паднесці да шкляной палачкі яшчэ адну пацёртую аб рызіну шкляную палачку *C*, то палачка *B* ужо **адштурхваецца** (мал. 86, *б*). Значыць, электрычныя зарады, якія ўзнікаюць на шкле і рызіне, **рознаіменныя**, і яны **прыцягваюцца**. А **аднайменныя** зарады, якія ўзнікаюць на шкляных палачках, **адштурхваюцца**.

Прадоўжым дослед. Складзём разам пацёртыя адно аб адно кавалак шланга і шкляную палачку і паднясём іх да падвешанай гільзы (мал. 86, *в*).



Мал. 86



Мал. 87

Дзеяння няма! Хоць зарады былі на абодвух целах (шлангу і палачцы), але яны **скампенсавалі** (нейтралізавалі) адзін аднаго. Менавіта гэтым тлумачацца назвы электрычных зарадаў: **дадатны** (у шкла) і **адмоўны** (у рызіны). Успомніце матэматыку: рэзультат складання двух роўных па модулі лікаў процілеглых знакаў роўны нулю ($-5+5=0$).

Такім чынам, электрычнае ўзаемадзеянне бывае двух відаў: **прыцяжэнне рознаіменна зараджаных** цел і **адштурхванне аднайменна зараджаных** цел.

Адштурхванне аднайменна зараджаных цел ляжыць у аснове будовы і дзеяння прыбора для ацэнкі і параўнання велічыні *электрычнага зараду* (колькасці электрычнасці). Гэта *электраскоп* (мал. 87, *а*). Пры перадачы шарыку прыбора дадатнага або адмоўнага зараду мы зараджаем гэтым зарадам лісточкі *A* і *B* электраскопа. Аднайменна зараджаныя лісточкі адхіляюцца на некаторы вугал, тым большы, чым большы перададзены электраскопу зарад.

Больш дасканалым прыборам з'яўляецца *электрометр* (мал. 87, *б*). Нададзены шарыку, а праз яго стрыжню і стрэлцы зарад (любога знака) выклікае адштурхванне стрэлкі *D* ад зараджанага стрыжня *C*. Ніжні канец стрэлкі перамяшчаецца пры гэтым па шкале *E*. Металічны корпус *F* дазваляе выкарыстоўваць прыбор і для больш складаных вымярэнняў.

Галоўныя вывады

1. Пры кантакце двух розных цел абодва целы зараджаюцца і набываюць здольнасць да электрычнага ўзаемадзеяння.

2. Зарады, якія ўзнікаюць на целах, называюцца дадатнымі і адмоўнымі, што звязана з іх кампенсуючым узаемным дзеяннем.

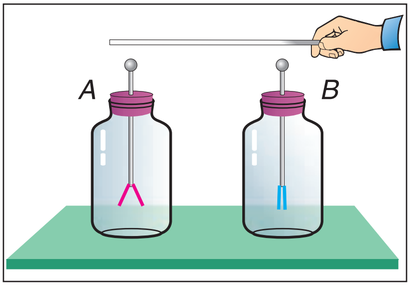
3. Аднайменна зараджаныя целы адштурхваюцца, а рознаіменна зараджаныя — прыцягваюцца.

Кантрольныя пытанні

1. Што такое электрызацыя трэннем?
2. Якая роля трэння пры такой электрызацыі?
3. Чаму зарады атрымалі назву дадатных і адмоўных?
4. Для чаго служыць электраскоп? Як ён дзейнічае?

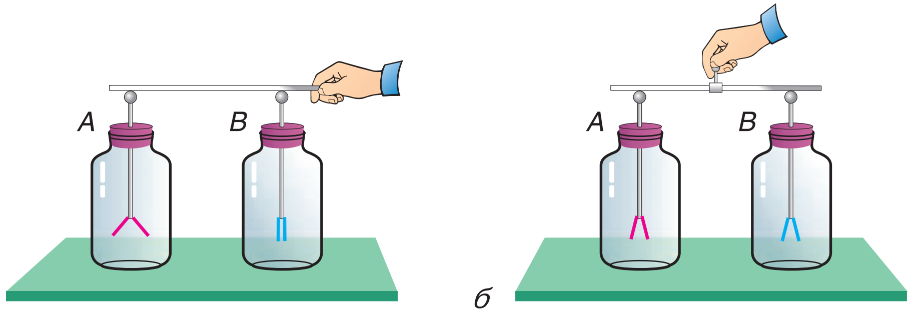
§ 14. Праваднікі і дыэлектрыкі

Ці можна зарад, атрыманы на наэлектрызаваным целе, перадаць іншаму целу? Ці пяройдзе, напрыклад, зарад ад зараджанага электраскопа A да другога незараджанага электраскопа B (мал. 88), калі іх злучыць перамычкай?



Мал. 88

Праверым гэта на доследзе, выкарыстоўваючы для злучэння зараджанага і незараджанага электраскопаў перамычкі з розных рэчываў. Дослед паказвае, што праз перамычку з такіх рэчываў, як шкло, рызіна, розныя пластмасы, зарад з аднаго электраскопа на другі не пераходзіць (мал. 89, *а*). Такія рэчывы з'яўляюцца **дыэлектрыкамі** (у быце іх часта называюць **ізалятарамі**).

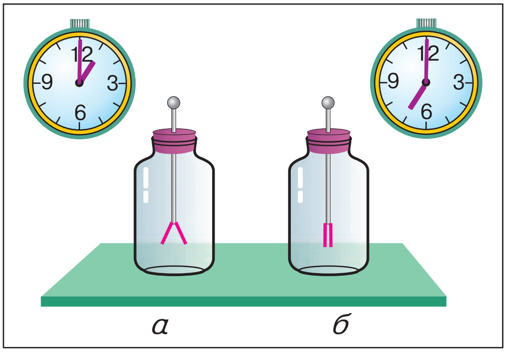


Мал. 89

Менавіта з такіх рэчываў выраблены абалонкі правадоў, штэпсельныя вілкі, ручкі адвёртак (мал. 90) і г. д. Дыэлектрыкам з'яўляецца і паветра.


Мал. 90

Калі ж злучыць электраскопы перамычкай з любога металу, частка электрычнага зараду пераходзіць да другога прыбора (мал. 89, *б*). Металы (і ў цвёр-



Мал. 91



Мал. 92

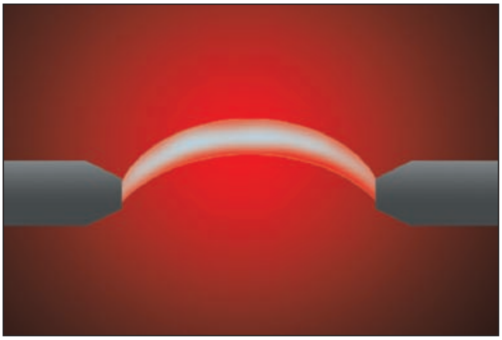
дым, і ў вадкім стане) — тыповыя прадстаўнікі **праваднікоў.** Да праваднікоў адносіцца большасць вадкасцей: растворы кіслот, солей, уключаючы звычайную пітную ваду. Правадніком з'яўляецца і цела чалавека, якое больш чым на дзве трэці складаецца з вадкасці.

Вельмі важна зразумець, што ідэальных дыэлектрыкаў няма. У любога дыэлектрыка можна выявіць зусім нязначную праводнасць.

Так, калі пакінуць на некалькі гадзін зараджаны электраскоп (мал. 91, *а, б*), то яго зарад паменшыцца, што сведчыць аб наяўнасці некаторай праводнасці ў паветра.

Усе вы неаднаразова назіралі маланку (мал. 92) і электрычную дугу пры зварцы металаў (мал. 93). Гэтыя з'явы сведчаць аб тым, што паветра пры пэўных умовах робіцца вельмі добрым правадніком.

Нават такія выдатныя дыэлектрыкі, як фарфор і шкло, могуць ператварыцца ў праваднікі. Менавіта таму ў лініях электраперадач прымяняюцца не адзіночныя, а цэлыя гірлянды ізалятараў (мал. 94).



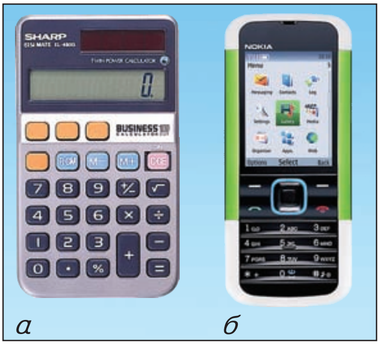
Мал. 93



Мал. 94

У XX ст. была адкрыта трэцяя група рэчываў — **паўправаднікі**. У гэтых рэчываў (напрыклад, германію Ge, крэмнію Si) здольнасць праводзіць зарад (праводнасць) у многа разоў хужэйшая, чым у праваднікоў (металаў). Вельмі важна, што ў паўправаднікоў праводнасць можна значна павялічыць рознымі ўздзеяннямі: награваннем, асвятленнем, радыяцыйным апраменьваннем. Гэта звязана з асаблівасцю будовы рэчываў гэтай групы.

Менавіта паўправаднікі дазволілі стварыць самыя складаныя ўстройствы: сонечныя батарэі для спадарожнікаў, камп'ютар, калькулятар (мал. 95, *а*), мабільны тэлефон (мал. 95, *б*) і многае іншае. З гэтай групай рэчываў вы пазнаёміцеся больш падрабязна пры вывучэнні фізікі ў 10-м класе.



Мал. 95

Галоўныя вывады

1. Электрычны зарад можа перамяшчацца ўнутры цела або ад аднаго цела да другога.
2. Рэчывы, у якіх магчыма перамяшчэнне зараду, называюцца праваднікамі.
3. Рэчывы, у якіх перамяшчэнне зараду замаруджана, называюцца дыэлектрыкамі (ізалятарамі).
4. Праводзячыя ўласцівасці асяроддзя можна змяніць знешнімі ўздзеяннямі.

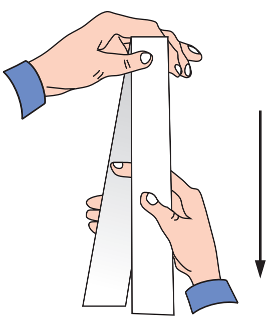
Кантрольныя пытанні

1. У чым адрозненне праваднікоў ад дыэлектрыкаў?
2. Як можна вызначыць, з'яўляецца дадзенае рэчыва праваднікам або дыэлектрыкам?
3. Якімі доследамі можна пацвердзіць дыэлектрычныя ўласцівасці паветра?
4. Калі дакрануцца пальцам да шарыка зараджанага электраскопа (электрометра), то зарад на прыборы знікае. Якія вывады можна зрабіць з гэтага?
5. Чаму ў вільготным памяшканні доследы па электрызацыі могуць «не атрымлівацца»?
6. Што такое ідэальны дыэлектрык? Ці існуе ён?

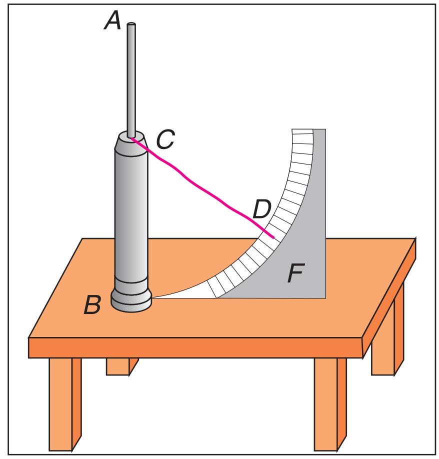
Практыкаванне 11

1. Чаму пры зніманні світара ён прыліпае да кашулі? Чаму гэта з'ява праз некаторы час знікае?

2. Вазьміце дзве вузкія сухія палоскі газетнай паперы і правядзіце па іх сухімі пальцамі (мал. 96). Растлумачце паводзіны палосак. Дзеянне якога прыбора тлумачыць гэты дослед?


Мал. 96

3. На малюнку 97 паказана частка ўстаноўкі, якая была прыменена рускім вучоным Г. В. Рыхманам для вывучэння электрычных з'яў. Пры перадачы металічнаму стрыжню *AB* зараду бабаўняная нітка *CD* адхілялася і яе канец перамяшчаўся па шкале *F*. Што вымяраў гэты прыбор?



Мал. 97

4. Якім простым спосабам можна разрадзіць электраскоп, г. зн. зняць з прыбора раней атрыманы зарад?

5. Як можна паменшыць электрычны зарад на праводзячым целе (металічным шарыку) роўна ў два разы? У чатыры разы?

6. Амаль да канца XVIII ст. лічылі, што металічныя і вільготныя целы не электрызуюцца пры трэнні. На чым грунтавалася гэта няправільная думка?

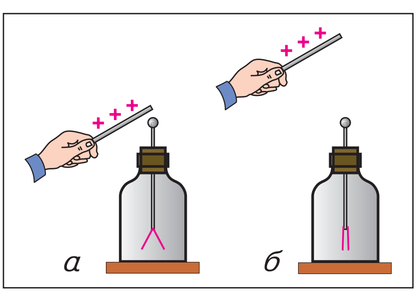
7. Чаму на некаторых вытворчасцях (прадзільных, паліграфічных) штучна падтрымліваюць высокую вільготнасць паветра?

8. Ці мае значэнне, да якой часткі рэйкі (бліжэй да апоры або канца) падносіць наэлектрызаваную палачку ў доследзе, які паказаны на малюнку 84?

9. Праводзячым шарыкам *A* і *B* надалі роўныя рознаіменныя зарады, а затым, папярэдне разрадзіўшы шарыкі, — такія ж аднайменныя зарады. Ці будуць аднолькавымі сілы прыцяжэння і сілы адштурхвання шарыкаў *A* і *B*?

§ 15. Электрызацыя праз уплыў

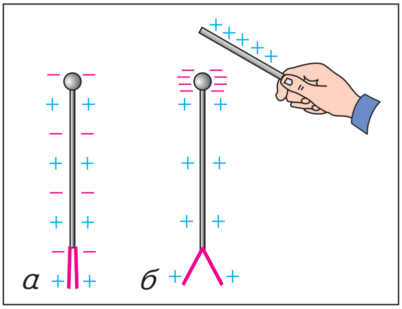
Мы ўжо ведаем, што зараджанае цела прыцягвае да сябе другое зараджанае цела, калі іх зарады рознаіменныя. Але чаму да зараджанага цела прыцягваюцца незараджаныя целы (пух, кавалачкі паперы, струмень вады, падвешаная гільза)?



Мал. 98

Для адказу на пастаўленае пытанне правядзём дослед. Паднясём да шарыка незараджанага электраскопа (электрометра), не дакранаючыся да яго, наэлектрызаваную палачку. Электраскоп фіксуе з'яўленне на лісточках зараду (мал. 98, *а*). Прымем палачку — лі-

сточкі спадаюць (мал. 98, *б*). Значыць, зарад ад палачкі да лісточкаў электраскопа не перайшоў праз паветра, а **з'явіўся пад уплывам** зараджанай палачкі.



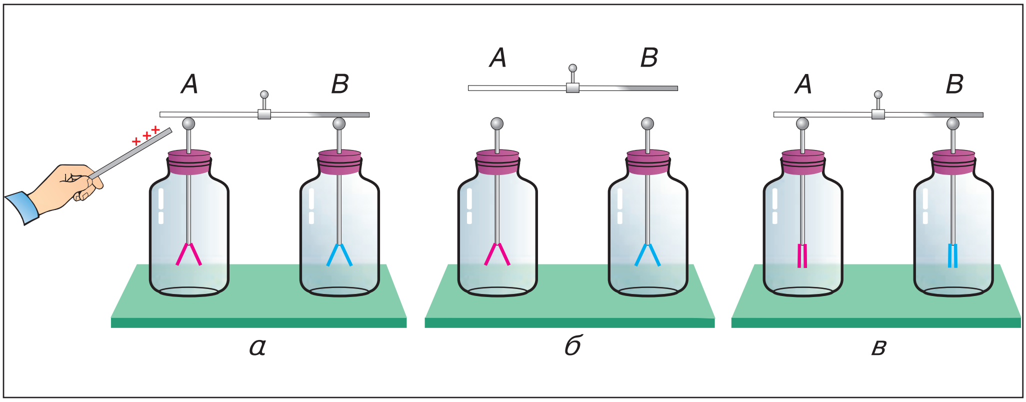
Мал. 99

Ведаючы, што зарад можа перамяшчацца ў целе, мы можам растлумачыць тое, што адбылося. У любым незараджаным целе заўсёды ёсць роўныя колькасці зарадаў процілеглых знакаў, якія раўнамерна размеркаваны па ўсім целе (мал. 99, *а*). Зарад на паднесенай да электраскопа палачцы прыцягвае да сябе рознаіменны і адштурхвае аднайменны зарад на стрыжні і лісточках электраскопа (мал. 99, *б*), што і тлумачыць з'яўленне зараду на лісточках.

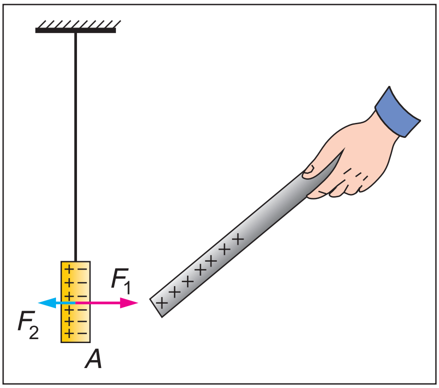
Гэта можна пацвердзіць больш наглядным доследам. Паднясём наэлектрызаваную палачку да аднаго з двух незараджаных электраскопаў, якія злучаны праводзячай перамычкай. Абодва прыборы фіксуюць з'яўленне зараду (мал. 100, *а*). Не аддаляючы палачку, прымем спачатку перамычку, а затым і саму палачку. Зарады застаюцца на абодвух прыборах (мал. 100, *б*). Гэтыя зарады роўныя па модулі і процілеглыя па знаку. У гэтым можна пераканацца, зноў злучыўшы прыборы перамычкай, — зарады кампенсуюць адзін аднаго (мал. 100, *в*).

Пераразмеркаванне зараду ў целе, якое выклікаецца ўздзеяннем другога зараджанага цела, называецца электрызацыяй праз уплыў.

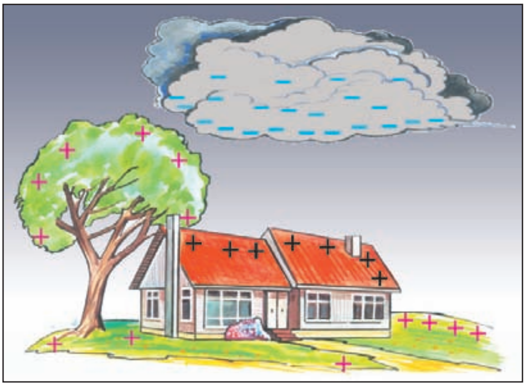
Цяпер зразумела, чаму да зараджанага цела прыцягваюцца незараджаныя целы.



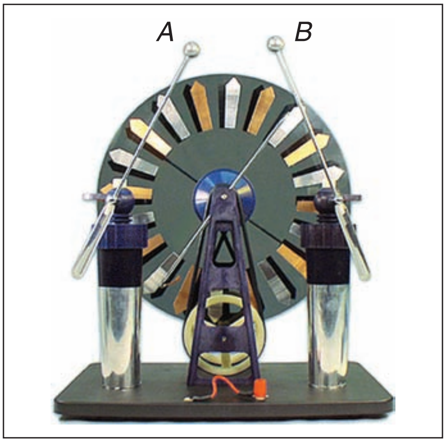
Мал. 100



Мал. 101



Мал. 102



Мал. 103

У незараджаным целе (станіёлевай гільзе) (мал. 101) пад дзеяннем зараджанага (палачкі) адбываецца пераразмеркаванне зараду, і на яго процілеглых баках узнікаюць два роўныя рознаіменныя зарады. Гэта стварае сілу прыцяжэння F_1 і адштурхвання F_2. Паколькі зарад процілеглага знака размешчаны **бліжэй** да палачкі, то і сіла прыцяжэння F_1 **большая** па модулі за сілу адштурхвання F_2. У выніку незараджаная гільза прыцягваецца да зараджанай палачкі. Дакажыце самастойна, што такі ж вынік будзе, калі да гільзы паднесці не шкляную, а эбанітавую наэлектрызаваную палачку.

Электрызацыя праз уплыў адбываецца надзвычай часта. Напрыклад, вынікам электрызацыі праз уплыў з'яўляецца маланка (навальнічны разрад). Ніжняя частка воблака, зараджаная адмоўна (мал. 102), выклікае пераразмеркаванне зараду ў глебе, дрэвах, дамах і г. д. Пры значнай велічыні зараду паміж воблакам і паверхняй Зямлі адбываецца разрад (маланка). Гэта ж з'ява адыгрывае важную ролю ў многіх тэхнічных устройствах, з якімі вы пазнаёміцеся пры далейшым вывучэнні фізікі. У кабінетах фізікі часта прымяняюць вынайдзеную яшчэ ў XVIII ст. *электрафорную машыну* (мал. 103), у якой выкарыстоўваецца як электрызацыя трэннем, так і электрызацыя праз уплыў, што дазваляе стварыць на шарыках A і B прыбора значныя разнаіменныя электрычныя зарады.

Галоўныя вывады

1. Наэлектрызаванае цела можа выклікаць у другім целе перараразмеркаванне зарадаў (электрызацыя праз уплыў).

2. Зарады, што ўзнікаюць пры гэтым у частках цела, абавязкова роўныя па модулі і процілеглыя па знаку.

3. Пры паднясенні зараджанага цела на бліжнім да яго баку незараджанага цела ўзнікае зарад процілеглага знака.

4. Электрызацыяй праз уплыў тлумачыцца прыцяжэнне незараджаных цел да зараджаных незалежна ад знака зараду.

Кантрольныя пытанні

1. У чым сутнасць электрызацыі праз уплыў? Чаму яна магчыма?
2. Як даказаць, што пры электрызацыі праз уплыў зарады частак цела процілеглыя па знаку?
3. У чым адрозненне электрызацыі трэннем і электрызацыі праз уплыў?
4. Як растлумачваецца прыцяжэнне незараджаных цел да зараджаных?

Практыкаванне 12

1. Чым тлумачыцца пераразмеркаванне зарадаў у целе пры электрызацыі праз уплыў?

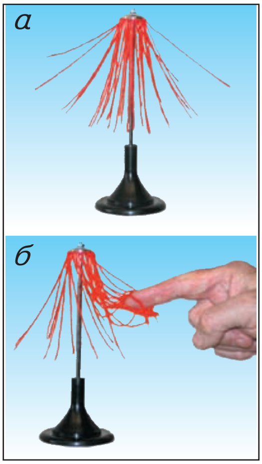
2. Як можна з дапамогай шкляной палачкі наэлектрызаваць два праводзячых целы: адно — дадатным, другое — адмоўным зарадам?

3. Лёгкая незараджаная staніёлевая гільза, падвешаная на ізалюючай нітцы, прыцягнулася да адмоўна зараджанай палачкі і зараз жа адштурхнулася ад яе. Чаму? Як будзе адбывацца дослед пры паднясенні да гільзы дадатна зараджанай палачкі?

4. Калі паднесці руку да зараджанай падвешанай гільзы, то гільза прыцягнецца да рукі. Растлумачце тое, што адбываецца.

5. Перададзім значны электрычны зарад пласцінцы з наклеенымі ніткамі або палоскамі тонкай паперы. Як растлумачыць узнікненне «вожыка» (мал. 104, *а*)? Паспрабуйце пальцам дакрануцца да такога «вожыка». Чаму «іголкі вожыка» пачынаюць «лавіць» ваш палец (мал. 104, *б*)?

6. Як можна рукой, г. зн. без усякіх прыбораў, вызначыць, зараджана або не зараджана падвешаная на ізалюючай нітцы станіёлевая гільза?

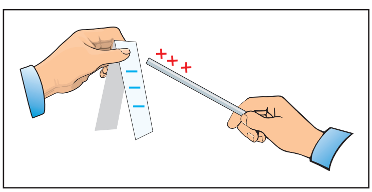


Мал. 104

§ 16. Электрычны зарад. Элементарны зарад

Разглядаючы ўзаемадзеянне электрычных зарадаў, іх перамяшчэнне ў целах, мы не закраналі вельмі важныя пытанні. Што такое электрычны зарад? Што адбываецца пры электрызацыі цел? Ці можа электрычны зарад мець любое, нават як заўгодна малое значэнне?

Упершыню думка аб тым, што існуе гранічная больш непадзельная «порцыя» электрычнага зараду, была выказана яшчэ ў першай палове XIX ст. выдатным англійскім вучоным М. Фарадэем, якому, дарэчы, належыць і сам тэрмін **электрычны зарад**. Другі англійскі вучоны Дж. Дж. Томсан адкрыў, што ў атамах усіх рэчываў змяшчаецца часціца, якая валодае **адмоўным** зарадам. Часціцу назвалі **электрон** (успомніце: грэч. — бурштын!). У некаторых рэчывах (асабліва ў металаў) электроны могуць дастаткова лёгка пакідаць атам. Складанымі доследамі было даказана, што зарад любога электрона мае заўсёды адно і тое ж значэнне і з'яўляецца найменшым, больш непадзельным. Гэта самая малая «порцыя электрычнасці» была названа **элементарным зарадам**.



Мал. 105

У складзе атама была знойдзена і часціца, якая валодала элементарным **дадатным** зарадам. Гэта — **пратон**. Адкрыцці электрона і пратона дазволілі проста растлумачыць электрызацыю цел. У ненаэлектрызаваным целе адмоўны сумарны зарад усіх электронаў роўны па модулі сумарнаму дадатнаму зараду ўсіх пратонаў. Пры кантакце цел, напрыклад шкла і паперы (мал. 105), з-за пэўных прычын значная колькасць электронаў пакідае шкло, пераходзячы да паперы. Папера набывае адмоўны зарад. Шкло пры гэтым зараджаецца дадатным зарадам, паколькі сумарны зарад усіх пратонаў будзе большым за сумарны зарад электронаў.

Важна зразумець, што электрычны зарад часціц (электрона, пратона) не ёсць нешта дабаўленае да іх. Электрычны зарад — гэта велічыня, якая характарызуе **неад'емную ўласцівасць электрона і пратона да асаблівых узаемадзеянняў з падобнымі да іх часціцамі**. І таму недарэчнымі будуць такія пытанні, як: «З чаго складаецца электрычны зарад электрона, пратона? Ці можна адняць яго ў часціцы (электрона, пратона)?» Пры электрызацыі трэннем ад цела да цела пераходзіць не ўласцівасць часціц, а **самі часціцы** — у большасці выпадкаў гэта электроны.

Як і ўсякую фізічную велічыню, колькасць электрычнасці неабходна вымяраць, г. зн. трэба ўвесці адзінку зараду. Такая адзінка ў СІ мае назву **кулон** (скарочана **Кл**) у гонар французскага вучонага Ш. А. Кулона. Строгае азначэнне гэтай адзінцы мы дадзім крыху пазней. Адзін кулон — вельмі вялікі зарад. Ва ўсіх апісаных доследах зарад цела складае ў лепшым выпадку мільённыя долі кулона. Элементарны зарад роўны:

$$\boldsymbol{e} = \mathbf{0{,}00000000000000000016\ Кл},$$

што больш зручна запісаць у стандартным выглядзе:

$$\boldsymbol{e} = \mathbf{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ Кл}.$$

Для выражэння значэнняў зарадаў наэлектрызаваных цел выкарыстоўваюць долевыя адзінкі:

1 мКл (мілікулон) = $1 \cdot 10^{-3}$ Кл;

1 мкКл (мікракулон) = $1 \cdot 10^{-6}$ Кл;

1 нКл (нанакулон) = $1 \cdot 10^{-9}$ Кл;

1 пКл (пікакулон) = $1 \cdot 10^{-12}$ Кл.

Звярніце ўвагу, што любы, нават самы невялікі, зарад цела кратны (г. зн. змяшчае цэлы лік) элементарнаму зараду.

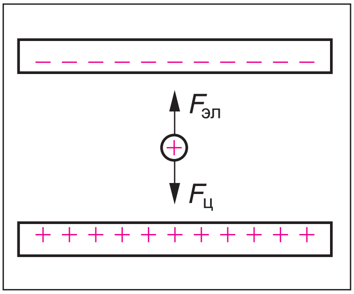
Зарад цела абазначаецца літарай $\boldsymbol{q}$. Тады

$$\boldsymbol{q} = \boldsymbol{eN},$$

дзе N — цэлы лік.

Доследы, якія дазволілі знайсці «найменшую порцыю электрычнасці», г. зн. элементарны зарад, былі праведзены адначасова ў 1910—1913 гг. Р. Э. Мілікенам у ЗША і А. Ф. Іофе ў Расіі.

У гэтых доследах зараджаная вельмі малая кропелька масла (у доследах Р. Э. Мілікена) або пылок цынку (у доследах А. Ф. Іофе) «завісала» паміж зараджанымі пласцінамі (мал. 106). Электрычная сіла $F_{эл}$, якая кампенсавала сілу цяжару $F_ц$, залежала ад зараду кропелькі (пылку), што дазволіла вучоным меркаваць аб значэнні гэтага зараду. У абодвух доследах былі атрыманы аднолькавыя рэзультаты. Зарад кропелькі масла (пылку) не мог прымаць любое значэнне. Гэта значэнне заўсёды кратна аднаму і таму ж ліку — 1,6 · 10—19 Кл.



Мал. 106

Галоўныя вывады

1. Электрычны зарад часціц і цел — велічыня, якая паказвае здольнасць часціц і цел да ўзаемадзеяння.

2. Электрычны зарад часціц, якія ўтвараюць атам (электронаў, пратонаў), неаддзельны ад саміх часціц.

3. Электрычны зарад любога зараджанага цела дыскрэтны, г. зн. кратны найменшаму элементарнаму зараду ($q = eN$).

4. Электрызацыя цел тлумачыцца перамяшчэннем электронаў ад цела да цела (электрызацыя трэннем) або ад адной часткі цела да другой (электрызацыя праз уплыў).

5. Адзінкай зараду ў СІ з'яўляецца 1 кулон.

Кантрольныя пытанні

1. Растлумачце выразы: а) «Электрычны зарад — гэта неад'емная ўласцівасць часціц...»; б) «Электрычны зарад любога цела дыскрэтны».
2. Што азначае паняцце «элементарны зарад»?
3. Якая часціца атама валодае элементарным дадатным зарадам? Адмоўным зарадам?
4. Як растлумачыць з'яўленне адмоўнага зараду на эбанітавай палачцы пры яе трэнні аб шэрсць?

§ 17. Будова атама. Іоны

На пачатку XX ст. было дакладна вядома, што ў склад атамаў усіх рэчываў уваходзяць адмоўна зараджаныя часціцы — электроны. Было вядома, што электроны не звязаны жорстка ў атаме і могуць нават выходзіць за яго межы. Паколькі атам нейтральны, то ў ім, безумоўна, павінен быць і дадатны зарад. Але дзе знаходзіцца дадатны зарад у атаме?

Фундаментальны, які мае прынцыповае значэнне ў навуцы, дослед па вывучэнні будовы атама быў праведзены ў 1911 г. англійскім вучоным Э. Рэзерфардам.

Сутнасць доследу можна зразумець з такога параўнання. Няхай трэба праверыць, не дакранаючыся да прадмета, аднародны ён ці не. Напрыклад, ці не схаваны ў стозе сена металічны прадмет. Гэта можна зрабіць, знаходзячыся на адлегласці ад стога і выкарыстоўваючы дробнакаліберную він-

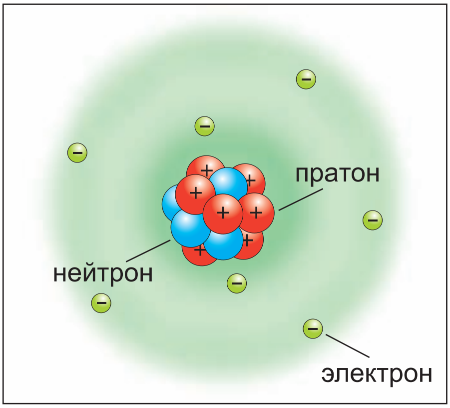


Мал. 107

тоўку і вялікі фанерны шчыт (мал. 107). Будзем страляць у стог па розных напрамках і па прабоінах у шчыце меркаваць аб траекторыях усіх куль. Пры аднароднасці стога не будзе ніводнага рыкашэту (адбіцця). Яны з'явяцца пры наяўнасці ў стозе маталічнага прадмета, прычым лік рыкашэтаў будзе залежаць ад яго памераў (напрыклад, кілаграмовай гіры або гімнастычнай 32-кілаграмовай).

У доследах Рэзерфарда найтанчэйшая плёнка з золата абстрэльвалася дадатна зараджанымі часціцамі і ацэньваліся траекторыі іх руху пасля праходжання плёнкі. Доследы Рэзерфарда (больш падрабязна аб іх пойдзе гаворка ў 11-м класе) пераканаўча паказалі, што атам **неаднародны**. Інакш, як растлумачыць, што некаторыя дадатна зараджаныя часціцы змянялі напрамак руху, хоць іх лік быў надзвычай невялікім. Дослед дазволіў сцвярджаць, што больш за 99,96 % масы атама і ўвесь дадатны зарад сканцэнтраваны ў надзвычай невялікай вобласці ў цэнтры атама, якую назвалі **ядром атама**. Рэзерфард ацаніў памер ядра атама. Яго дыяметр прыкладна ў 10^4—10^5 разоў меншы за дыяметр самога атама. Суадносіны гэтых памераў прыкладна такія ж, як у памераў макавага зярнятка, якое ляжыць у цэнтры футбольнага поля, і самога поля.

Пазней (у 1919 г.) былі эксперыментальна выяўлены носьбіты дадатнага зараду ядра — *пратоны*. Назва часціц (грэч. protos — першасны, базавы) падкрэслівае, што пратоны з'яўляюцца асновай (базай) ядзер усіх без выключэння атамаў. Акрамя пратонаў, у ядры знаходзяцца электранейтральныя часціцы — *нейтроны* (мал. 108).



Мал. 108

Вакол ядра на вельмі вялікай адлегласці безупынна рухаюцца адмоўна зараджаныя *электроны*, якія ўтрымліваюцца ўзаемадзеяннем з ім.

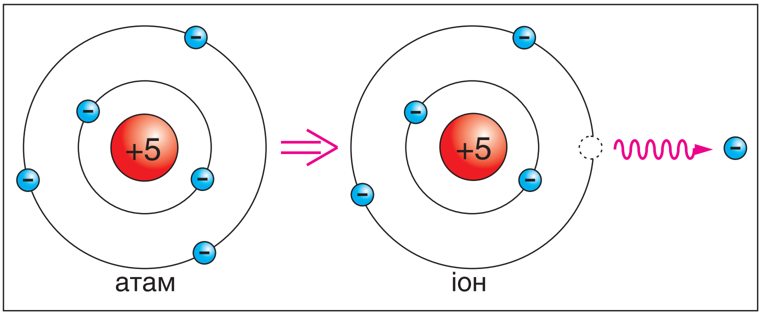
Аднак прыпісаць нейкую канкрэтную арбіту электрону ў атаме зусім немагчыма. Ён быццам бы размыты ў пэўным аб'ёме прасторы, і таму мы можам гаварыць толькі аб **электронных абалонках** атама (гл. мал. 108).

У неправодзячых асяроддзях (дыэлектрыках) электроны дастаткова моцна «звязаны» з ядром і рэдка пакідаюць атам. У праваднiках (металах) адзін або некалькі электронаў пакідаюць атам і свабодна перамяшчаюцца ўнутры правадніка.

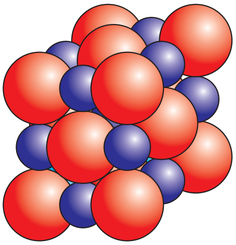
Лік пратонаў у ядры атама роўны ліку электронаў на абалонках (гл. мал. 108), што і забяспечвае электранейтральнасць атама.

Пры выхадзе электрона (электронаў) з атама атам робіцца **дадатна зараджанай часціцай — іонам** (мал. 109). Магчымы і адваротны працэс, пры якім атамы некаторых рэчываў далучаюць «лішнія» электроны і ператвараюцца ў **адмоўныя іоны**. Напрыклад, звычайная кухонная соль складаецца не з нейтральных атамаў натрыю і хлору, а з дадатных іонаў натрыю і адмоўных іонаў хлору, якія ўтвараюць пэўную структуру (мал. 110).

Пры растварэнні ў вадзе кухоннай солі гэтыя іоны аддзяляюцца адзін ад аднаго, што робіць ваду добрым праваднiком. Невялікі лік іонаў абодвух знакаў заўсёды ёсць і ў газах — успомніце дослед з павольнай стратай зараду электраскопам!



Мал. 109



Мал. 110

Галоўныя вывады

1. Дадатны зарад атама сканцэнтраваны ў вельмі невялікай частцы атама — ядры і вызначаецца лікам пратонаў у ім.

2. Адмоўным зарадам у атаме валодаюць электроны. Іх лік роўны ліку пратонаў у ядры.

3. Электроны могуць пакідаць атамы, ствараючы ў рэчыве праводнасць.

4. Пры страце нейтральным атамам (або пры набыцці ім) электронаў утвараюцца дадатныя (або адмоўныя) іоны.

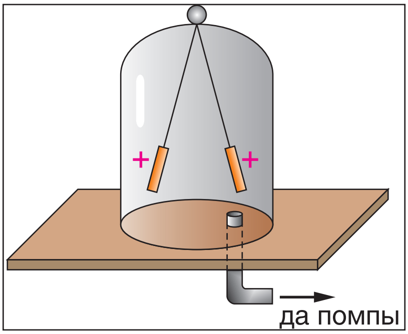
Кантрольныя пытанні

1. У чым сутнасць доследаў Рэзерфарда?
2. Якая мадэль будовы атама прапанавана, зыходзячы з доследаў Рэзерфарда?
3. Якія прыкладныя суадносіны паміж памерамі атама і ядра?
4. Як растлумачыць, зыходзячы з мадэлі будовы атама, дзяленне рэчываў на праваднікі і дыэлектрыкі?
5. Што называюць дадатным іонам? Адмоўным іонам?

§ 18. Электрычнае поле. Напружанне

Якім чынам два зараджаныя целы дзейнічаюць адно на адно? Ці будуць узаемадзейнічаць зараджаныя целы ў пустаце (пры адсутнасці асяроддзя)? Усе доследы паказваюць, што зараджаныя целы могуць узаемадзейнічаць нават у пустаце (мал. 111). Чаму гэта магчыма?

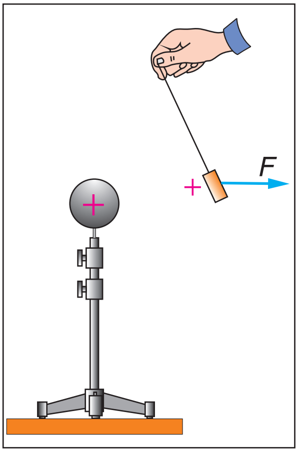
З перадачай дзеяння без асяроддзя мы ўжо знаёмы — гэта сусветнае прыцягненне. Менавіта дзякуючы полю прыцягнення, аб якім гаварылася ў падручніку «Фізіка, 7», Сонца ўтрымлівае на арбіце нашу Зямлю, аддаленую ад яго на 150 млн км. Поле прыцягнення Зямлі ўтрымлівае на арбітах Месяц і штучныя спадарожнікі Зямлі, прымушае падаць целы.



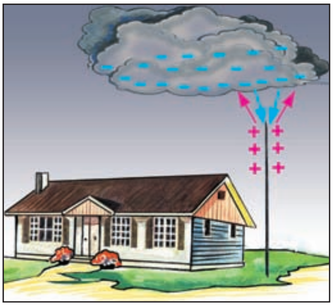
Мал. 111

Аналагічна гэтаму вакол зараджаных цел таксама існуе асобы стан прасторы, звязаны з наяўнасцю ў ёй зараду. Гэта — **электрычнае поле.**

Гэта поле не дзейнічае на вядомыя вам прыборы: дынамометр, тэрмометр, барометр і на нашы пачуцці: зрок, дотык, нюх, слых. Можа ўзнікнуць сумненне: а ці іс-



Мал. 112



Мал. 113



Мал. 114

нуе такое поле наогул? Так, яно існуе рэальна і незалежна ад таго, што мы пра яго ведаем. Рэальнасць існавання электрычнага поля пацвярджаецца яго **канкрэтным дзеяннем**: яно **дзейнічае на ўнесены зарад** з пэўнай сілай F (мал. 112).

У навуцы ўсё тое, што рэальна існуе ў навакольным свеце незалежна ад нашай свядомасці, называецца *матэрыяй*. Значыць, *электрычнае поле — гэта асобая форма матэрыі*.

Менавіта электрычнае поле, якое ствараецца зараджанай хмарай (гл. мал. 102), выклікае з'яўленне разнайменнага зараду (электрызацыя праз уплыў) на паверхні Зямлі пад хмарай.

Чалавек навучыўся абараняцца ад шкодных дзеянняў электрычнага поля і выкарыстоўваць яго ў сваіх мэтах. Падымаючы над будынкамі і збудаваннямі завостраны дрот (маланкаадвод) (мал. 113), другі канец якога злучаны з зямлёй, мы можам стварыць вельмі павольнае перацяканне зараду хмары і такім чынам паступова «разрадзіць» яе. Электрычнае поле прымушае наэлектрызаваныя часцінкі чорнай фарбы пападаць на патрэбныя ўчасткі паперы, на чым заснавана *ксеракапіраванне* (мал. 114).

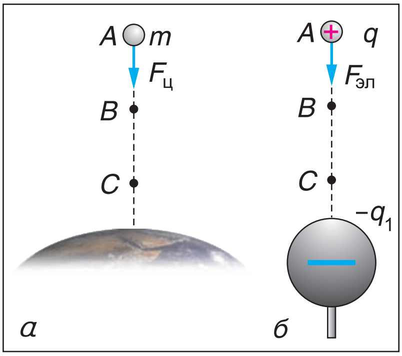
Параўнаем поле прыцягнення планеты (Зямлі) (мал. 115, *а*) і электрычнае поле, якое ствараецца, напрыклад, шарам з адмоўным зарадам $-q_1$ (мал. 115, *б*).

Абодва палі праяўляюць сябе ў канкрэтных дзеяннях. Поле прыцягнення Зямлі прымушае падаць любое цела масай m, напрыклад з пункта A.

Электрычнае поле прыводзіць у рух зараджаную часціцу (пратон, дадатны іон) або зараджанае цела, якое валодае зарадам $+q$, змешчаныя ў пункт A.

У абодвух выпадках сілы поля будуць выконваць дадатную работу па разгоне цела (часціцы), пры гэтым велічыня работы будзе залежаць ад становішча пачатковага і канечнага пунктаў: A і B або A і C.

Для зручнасці разліку работы ў электрычным полі ўводзяць асобную велічыню — **электрычнае напружанне**, або проста **напружанне.** Чым большую работу выконваюць сілы поля пры пераносе зараду паміж двума пунктамі поля, тым большае напружанне паміж гэтымі пунктамі. Так, напружанне паміж пунктамі *A* і *B* меншае за напружанне паміж пунктамі *A* і *C* (гл. мал. 115).



Мал. 115

Калі абазначыць электрычнае напружанне лацінскай літарай *U*, то сказанае толькі што можна запісаць матэматычнымі выразамі:

$$U_{AC} > U_{AB} \quad \text{і} \quad U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}.$$

Галоўныя вывады

1. Электрычнае поле — асаблівы стан прасторы, звязаны з зараджаным целам (часціцай, якая валодае электрычным зарадам).

2. Матэрыяльнасць электрычнага поля пацвярджаецца яго дзеяннем на ўнесены ў поле зарад.

3. Перамяшчаючы зараджаную часціцу, сілы электрычнага поля выконваюць пэўную работу.

4. Напружанне паміж двума выбранымі пунктамі поля характарызуе магчымае значэнне выкананай сіламі поля работы.

Кантрольныя пытанні

1. Што з'яўляецца крыніцай электрычнага поля?
2. Чым пацвярджаецца рэальнасць існавання электрычнага поля?
3. У чым падабенства электрычнага поля і поля прыцягнення?
4. Што характарызуе электрычнае напружанне паміж дадзенымі пунктамі поля?
5. Як разумець выраз: $U_{AB} > U_{BC}$?
6. Як зменіцца электрычнае напружанне U_{AB} і U_{AC} (гл. мал. 115, *б*), калі зарад $-q_1$ павялічыцца? Паменшыцца?

§ 19. Адзінка напружання. Разлік работы ў электрычным полі

Кожны з вас, вядома ж, бачыў строгае папярэджанне: «Увага! Высокае напружанне! Небяспечна для жыцця!» Узнікаюць пытанні. Па-першае, чаму выкарыстоўваюць слова «высокае»? А па-другое (што самае галоўнае), чаму высокае напружанне небяспечна для жыцця?

Для адказу на гэтыя пытанні пазнаёмімся з адзінкай электрычнага напружання ў Міжнароднай сістэме адзінак (СІ). Яна называецца **вольтам** (**В**) у гонар італьянскага вучонага А. Вольта, упершыню стварыўшага крыніцу электрычнага току — хімічную крыніцу, называемую цяпер батарэйкай.

1 вольт (1 В) — гэта напружанне паміж такімі двума пунктамі электрычнага поля, пры пераносе паміж якімі зараду 1 Кл выконваецца работа 1 Дж.

Цяпер вы можаце растлумачыць сэнс надпісу «4,5 В» або «9 В» на круглай або плоскай батарэйцы (мал. 116). Сэнс у тым, што пры пераносе з аднаго полюса крыніцы на другі (праз спіраль лямпачкі або іншы праваднік) зараду 1 Кл сіламі электрычнага поля можа быць выканана работа адпаведна 4,5 Дж або 9 Дж.



Мал. 116

Такім чынам, напружанне — **характарыстыка працаздольнасці** поля на разглядаемым участку. З пункту гледжання матэматыкі можна гаварыць аб **прамой залежнасці** выкананай работы ад напружання. А калі ў разглядаемых выпадках будзе перамяшчацца не адзінкавы зарад у 1 кулон, а зарад, у 2, 3, 5 разоў большы? У столькі ж разоў будзе большай і выкананая работа. Значыць, работа сіл электрычнага поля можа быць знойдзена як здабытак значэнняў перанесенага зараду і напружання:

$$A = q \cdot U.$$

Вернемся да аналогіі поля прыцягнення і электрычнага поля і малюнку 115. Напружанне ў пэўнай меры можна параўнаць са змяненнем вышыні, з якой падае (на якую падымаецца) цела. Чым вышэй знаходзілася цела, тым большую работу выканала сіла цяжару. Нядзіўна таму, што часта замест таго, каб гаварыць «малое напружанне», гавораць «нізкае напружанне», замест «вялікае напру-

жанне» — «высокае напружанне». Напрыклад: «высакавольтная лінія», «нізкавольтная крыніца току», «высокае напружанне небяспечнае для жыцця».

Звярніце ўвагу, калі гавораць «вялікае (высокае) напружанне», то гэта яшчэ не азначае, што ўжо выканана вялікая работа. Гэта ўказанне на тое, што яна *можа быць выканана*. Параўнайце: пры падзенні цела з вялікай вышыні можа быць выканана ў залежнасці ад масы падаючага цела (камень, пясчынка) як вялікая, так і малая работа. Зусім гэтак жа пры руху зарадаў у электрычным полі выкананая работа залежыць не толькі ад значэння напружання, але і ад значэння перанесенага зараду, што і паказана ў запісанай формуле.

У быце электрычныя палі з напружаннем у некалькі тысяч вольт часта ўзнікаюць паміж целам чалавека і яго сухім адзеннем (шарсцяным і асабліва сінтэтычным), паміж рукой чалавека, які гладзіць сухую, чыстую шэрсць кошкі, і кошкай. Нярэдка гэта суправаджаецца ўзнікненнем іскраў і патрэскваннем. Гэта — пераход зарадаў паміж целамі праз паветра, якое ў вельмі моцных палях робіцца праваднікам. Падумайце, чаму ў гэтых выпадках не ўзнікаюць сур'ёзныя пашкоджанні. Чаму гэтыя эфекты адсутнічаюць, калі паветра вільготнае?

Галоўныя вывады

1. Напружанне характарызуе працаздольнасць электрычнага поля на дадзеным участку.
2. Работа пры пераносе зараду з аднаго пункта поля ў другі прама прапарцыянальна значэнням напружання паміж пунктамі поля і зараду, які пераносіцца.
3. Адзінка напружання ў СІ — 1 вольт.
4. 1 В — гэта напружанне паміж двума пунктамі электрычнага поля, пры пераносе паміж якімі зараду 1 Кл выконваецца работа 1 Дж.

Кантрольныя пытанні

1. Што характарызуе напружанне паміж дадзенымі пунктамі поля?
2. Што абазначае выраз: «Напружанне на лямпе роўна 12 вольт»?
3. Ад чаго залежыць работа, якая выконваецца ў электрычным полі?
4. Ці можа выконвацца: а) маленькая работа пры вялікім напружанні; б) вялікая работа пры невялікім напружанні?
5. Чаму вялікае напружанне часцей называюць высокім?

Прыклад рашэння задачы

У тэлевізійнай трубцы (кінескопе) электроны разганяюць, выкарыстоўваючы напружанне $U = 20$ кВ. Якая работа выконваецца пры разгоне аднаго квадрыльёна $(1{,}0 \cdot 10^{15})$ электронаў?

Дадзена:

$U = 20$ кВ $= 20000$ $B =$
$= 2{,}0 \cdot 10^4$ В
$N = 1{,}0 \cdot 10^{15}$

A — ?

Рашэнне

Поўны зарад q усіх электронаў знойдзем праз элементарны зарад:

$$q = e \cdot N.$$

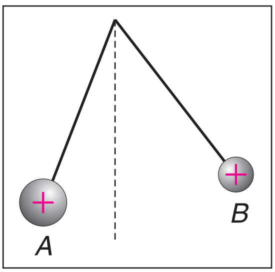
Выкананая работа:

$$A = q \cdot U = e \cdot N \cdot U = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \cdot 10^{15} \cdot 2{,}0 \cdot 10^4 \text{ В} = 3{,}2 \text{ Дж}.$$

Адказ: А = 3,2 Дж.

Практыкаванне 13

1. Чаму пры запісе значэння элементарнага зараду $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл не паказваюць яго знак (плюс або мінус)?



Мал. 117

2. Ці аднолькавая маса нейтральнага атама рэчыва і іона гэтага ж рэчыва?

3. Ці змяняецца маса электрызуемага кавалка мелу пры: а) электрызацыі яго трэннем; б) электрызацыі праз уплыў (пры паднясенні да яго зараджанага цела)?

4. Што пацвярджае існаванне электрычнага поля вакол зараджаных цел A і B (мал. 117)?

5. Якую работу выконваюць электрычныя сілы, перамяшчаючы зарад $q = 2$ нКл паміж пунктамі, напружанне паміж якімі $U = 4$ В?

6. У электронным гадзінніку за суткі перамяшчаецца зарад $q = 17$ мКл. Якое значэнне напружання, калі работа электрычных сіл $A = 0{,}26$ Дж?

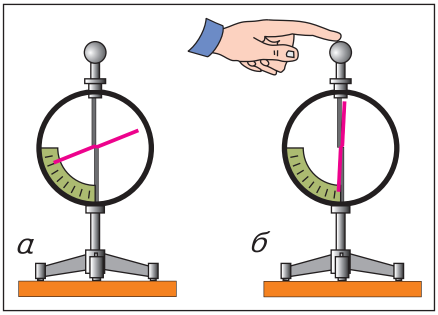
7. У электрапрыборы пры напружанні $U = 220$ В за адну мінуту перамяшчаецца зарад $q = 0{,}16$ кКл. Якое значэнне магутнасці электрапрыбора?

8. З дапамогай якога напружання можна разагнаць нерухомы электрон да першай касмічнай скорасці $v = 7{,}9\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$? Маса электрона $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

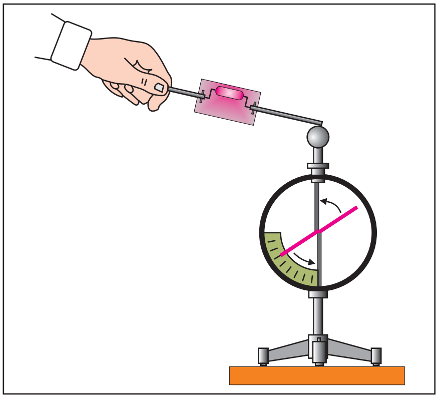
§ 20. Электрычны ток. Крыніцы току

Электрычнае поле, дзейнічаючы на зараджаныя часціцы ў асяроддзі, якія хаатычна рухаюцца, можа ствараць іх ***накіраваны рух — электрычны ток****. Высветлім, што патрэбна для таго, каб узнік і працяглы час праходзіў ток.*

Па-першае, у асяроддзі павінны быць **свабодныя** зараджаныя часціцы: электроны, іоны, г. зн. асяроддзе павінна быць праводзячым. Па-другое, у гэтым ася-



Мал. 118

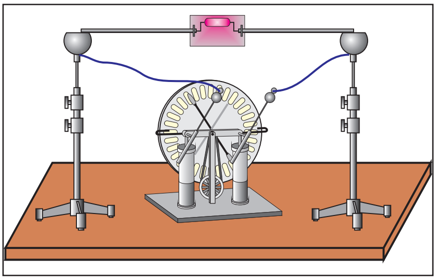


Мал. 119

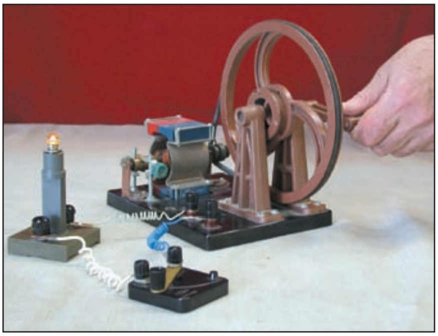
роддзі павінна быць электрычнае поле, якое прымушае часціцы рухацца ў адным напрамку. Інакш кажучы, у асяроддзі трэба ствараць пэўнае электрычнае напружанне.

Правядзём дослед. Наэлектрызуем шар, замацаваны на электрометры (мал. 118, *а*). Дакранёмся да шара пальцам (мал. 118, *б*). Зарад сыходзіць з шара праз наша цела ў зямлю. Праз нас праходзіць ток, хоць мы гэтага не адчуваем.

Дакранёмся да зараджанага шара металічным правадніком з неонавай лямпачкай (мал. 119). У цемнаце добра відаць кароткатэрміновая ўспышка лямпачкі, г. зн. праз лямпачку прайшоў кароткатэрміновы ток. Напружанне паміж шарам электрометра і зямлёй паменшылася.



Мал. 120



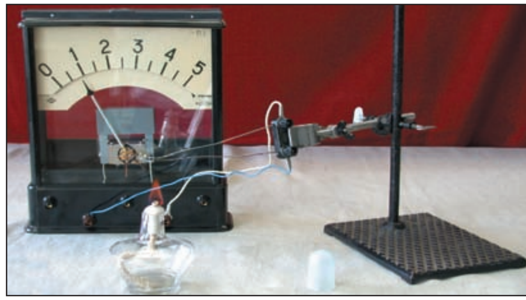
Мал. 121

Каб электрычны ток не спыняўся, трэба падтрымліваць напружанне, для чаго служаць **крыніцы току**, або **генератары**. Самай «старажытнай» крыніцай току можна лічыць электрафорную машыну (мал. 120), у якой дзякуючы раздзяленню зарадаў ствараецца неабходнае напружанне. Неонавая лямпачка будзе гарэць да таго часу, пакуль верцяцца дыскі.

Аналагічнае раздзяленне дадатных і адмоўных зарадаў адбываецца ў любой іншай крыніцы: гальванічным элеменце (батарэйцы) (гл. мал. 116), механічным генератары з пастаянным магнітам (мал. 121), сонечнай батарэі калькулятара (мал. 122).



Мал. 122



Мал. 123



Мал. 124

Крыніцы току могуць мець розныя прынцыпы работы, памеры і знешні выгляд. Параўнайце адну з самых першых крыніц, якія прымяняюцца вучонымі, — тэрмапару (мал. 123) і генератар электрастанцыі (мал. 124).

Першая складаецца ўсяго з двух хімічна розных дроцікаў, якія награваюцца любым награвальнікам, другі — вельмі складанае шматтоннае ўстройства.

Але ва ўсіх без выключэння крыніцах напружанне, а значыць, і **электрычная энергія** не ўзнікаюць з нічога. Яна ствараецца за кошт якога-небудзь іншага віду энергіі. У тэрмапары — за кошт унутранай энергіі, у генератары электрастанцыі — за кошт энергіі струменя пары або вады.

Адзначым яшчэ адну вельмі важную крыніцу — акумулятар (мал. 125). У ім, як і ў звычайнай батарэйцы, выкарыстоўваецца энергія хімічных рэакцый, якія



Мал. 125



Мал. 126



Мал. 127

адбываюцца. Але ў адрозненне ад батарэек, якія праз некаторы час робяцца непрыгоднымі, акумулятары можна шматразова **зараджаць**, вяртаючы ім першапачатковыя ўласцівасці. Акумулятары незамяняльныя ў аўтамабілі, мабільным тэлефоне, ноўтбуку (мал. 126). Без іх немагчыма работа касмічных станцый. Ужо выпрацоўваюцца аўтамабілі — электрамабілі (мал. 127), у якіх акумулятар служыць не толькі для запуску рухавіка, але і для язды на значныя адлегласці.

Галоўныя вывады

1. Электрычны ток — накіраваны рух зараджаных часціц.
2. Для стварэння і падтрымкі току ў ланцугу неабходны крыніцы току.
3. У крыніцах току (генератарах) адбываецца раздзяленне разнайменных зарадаў, што стварае неабходнае электрычнае напружанне.
4. У любой крыніцы току адбываецца ператварэнне якога-небудзь віда энергіі ў электрычную энергію.

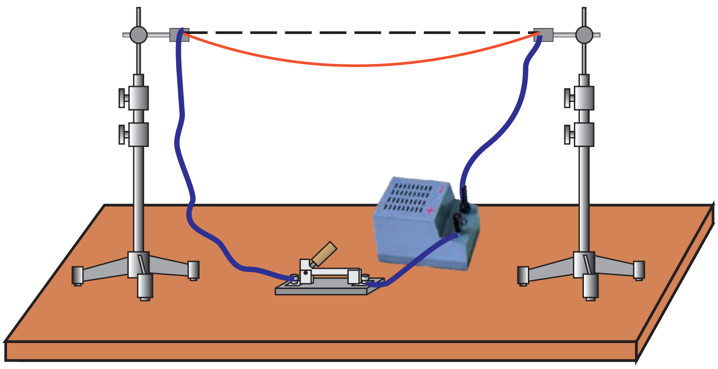
Кантрольныя пытанні

1. Што называюць электрычным токам?
2. Якія ўмовы ўзнікнення і працяглага існавання току?
3. Ці магчымы электрычны ток без крыніцы? Растлумачце на прыкладах.
4. Што такое крыніца току?
5. Якія ператварэнні энергіі адбываюцца ў крыніцах току, разгледжаных у параграфе?
6. Што агульнае і што рознае ў звычайнай батарэйкі і акумулятара?
7. У аўтамабілі ёсць дзве крыніцы току: акумулятар і генератар, які дае напружанне толькі пры працуючым рухавіку. Якое прызначэнне абедзвюх крыніц?

§ 21. Дзеянні току

Праходжанне электрычных зарадаў (праходжанне току) у асяроддзі суправаджаецца некалькімі вельмі важнымі фізічнымі з'явамі, якія з вялікай карысцю прымяняюцца ў практычным жыцці. Разгледзім гэтыя з'явы.

Асяроддзе, у якім праходзіць ток, награваецца, у гэтым праяўляецца **цеплавое дзеянне** току. Гэта дзеянне можна назіраць: калі праз дрот прапусціць ток, то ён правісае (мал. 128).



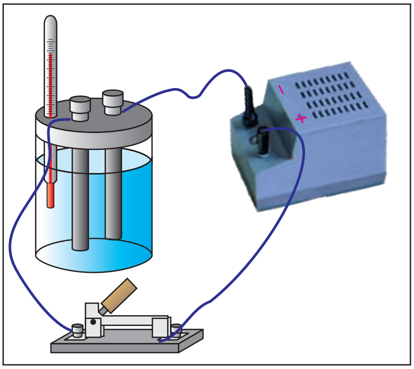
Мал. 128

Менавіта цеплавое дзеянне току чалавек даўно і паспяхова выкарыстоўвае ў электрычных прасах, паяльніках, кіпяцільніках, у электраплітах (мал. 129) і г. д.

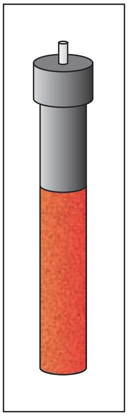
Цеплавое дзеянне току назіраецца не толькі ў цвёрдых праваднiках, але і ў газах (успомніце маланку), і ў вадкасцях. Пераканаемся ў гэтым на доследзе. Апусцім у шклянку з растворам меднага купарвасу два вугальныя электроды і ўключым ток (мал. 130). Ужо праз 20—30 с тэрмометр пакажа павелічэнне тэмпературы раствору.



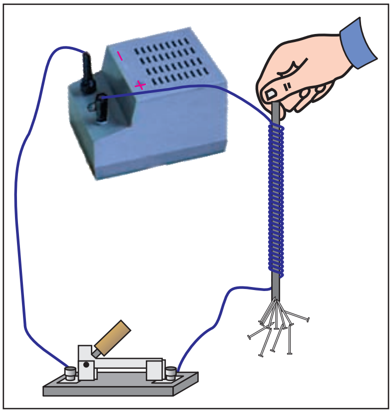
Мал. 129



Мал. 130



Мал. 131



Мал. 132

Награванне асяроддзя электрычным токам, які праходзіць, растлумачыць няцяжка. Сіла электрычнага поля, перамяшчаючы зараджаную часціцу (электрон, іон) у праводзячым асяроддзі, разганяе яе, г. зн. павялічвае яе кінетычную энергію. Але часціца, якая разганяецца, шматразова сутыкаецца з часціцамі асяроддзя (атамамі, малекуламі, іонамі). Сутыкаючыся, яна перадае ім частку сваёй энергіі, што і прыводзіць да росту ўнутранай энергіі праводзячага асяроддзя. Тэмпература асяроддзя павышаецца. У маланцы тэмпература можа дасягаць мільёнаў градусаў.

Разгледзім вугальныя электроды пасля 2—3 мін праходжання праз раствор току. Адзін з іх (злучаны з клемай «–») пакрыўся чырванаватым налётам (мал. 131). Гэта — чыстая медзь. Значыць, электрычны ток, праходзячы праз раствор, выканаў яшчэ адно дзеянне — **хімічнае**. Менавіта з яго дапамогай і атрымліваюць у прамысловасці чыстую медзь, алюміній і іншыя металы. На гэтым дзеянні заснавана храміраванне і нікеліраванне дэталей. Хімічнае дзеянне току можа адбывацца і ў газах — успомніце пах азону ў час навальніцы (азон — асобая форма кіслароду, яго малекулы складаюцца з трох атамаў).

Для назірання яшчэ аднаго дзеяння току правядзём дослед. Абматаем медным ізаляваным дротам жалезны стрыжань (можна некалькі складзеных разам цвікоў) і прапусцім па такой шпулі ток (мал. 132). Паднясём яе да дробных жалезных прадметаў (цвікі, шрубы, гайкі і г. д.). Шпуля з токам прыцягвае жалезныя прадметы, г. зн. яна стала магнітам. Выключым ток. Шпуля губляе свае магнітныя ўласцівасці.

Магнітнае дзеянне электрычнага току, якое назіраецца ў гэтым доследзе, з'яўляецца самым універсальным дзеяннем. Яно праяўляецца пры праходжанні току як у цвёрдых целах, так і ў вадкасцях і газах. Менавіта з-за яго ўзнікае трэск у радыёпрыёмніках у час навальніцы. Нават калі прымусіць накіравана перамя-



Мал. 133

шчацца зарады ў моцна разрэджанай прасторы (у тэхніцы такую з'яву называюць *токам у вакууме),* то і тут ток выконвае магнітнае дзеянне.

У другой палове XX ст. былі створаны прынцыпова новыя крыніцы святла. Выпраменьванне святла ў іх адбываецца не за кошт высокай тэмпературы праводзячага ток асяроддзя, а з-за больш складаных працэсаў. Вы можаце бачыць такія крыніцы (святлодыёдныя лямпы) у плоскіх святлафорах новага пакалення (мал. 133), у ліхтарыках. Тут выкарыстоўваецца яшчэ адно дзеянне току — **светлавое**.

Галоўныя вывады

1. Электрычны ток выконвае тры асноўныя дзеянні: цеплавое, хімічнае і магнітнае.
2. Цеплавое дзеянне току адбываецца ў цвёрдых, вадкіх, газападобных асяроддзях.
3. Магнітнае дзеянне электрычны ток выконвае пры праходжанні ў любым асяроддзі і ў вакууме.

Кантрольныя пытанні

1. Якія дзеянні выконвае электрычны ток?
2. Ці назіраецца хімічнае дзеянне току ў цвёрдых асяроддзях?
3. Ці магчыма магнітнае дзеянне току ў вакууме?
4. Як растлумачыць цеплавое дзеянне току?

§ 22. Сіла і напрамак электрычнага току



Мал. 134

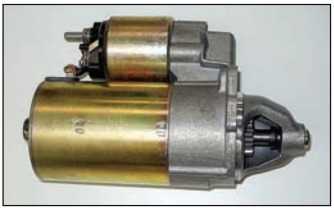
Параўнаем цячэнне вады (вадзяны ток) у вузкім ручайку і ў глыбокай суднаходнай рацэ (мал. 134). Прычына цячэння вады аднолькавая — розначсць вышынь узроўняў вады ў вусці і вытоку. Колькасць жа вады, якая працякае праз сячэнне ручая і сячэнне ракі за аднолькавы прамежак часу, розная. Аналагічна гэтаму, значэнні зараду, які прайшоў за адзінку часу праз папярочнае сячэнне спіралей лямпаў кішэннага ліхтарыка і пражэктара, моцна адрозніваюцца. Таму гавораць аб рознай сіле току ў праваднiках.

За сілу электрычнага току прымаюць фізічную велічыню, лікава роўную зараду, які прайшоў праз папярочнае сячэнне праваднікa за адзінку часу. Абазначаецца сіла току літарай $\boldsymbol{I}$.

З азначэння вынікае, што, ведаючы зарад q, які прайшоў за прамежак часу t, мы можам знайсці сілу току I па формуле:

$$\boldsymbol{I = \frac{q}{t}}.$$

Адзінка сілы току ў СІ **1 ампер** (А). Гэта адзінка не выводзіцца праз формулы, а выбрана *па дамоўленасці*. Заўважым, што 1 А — гэта значная сіла току. У лямпачках, якія асвятляюць нашы кватэры, сіла току звычайна роўна 0,2—0,5 А. Аднак пры запуску рухавіка аўтамабіля спецыяльны электраматор (стартар) (мал. 135) спажывае ток сілай 200—300 А.



Мал. 135

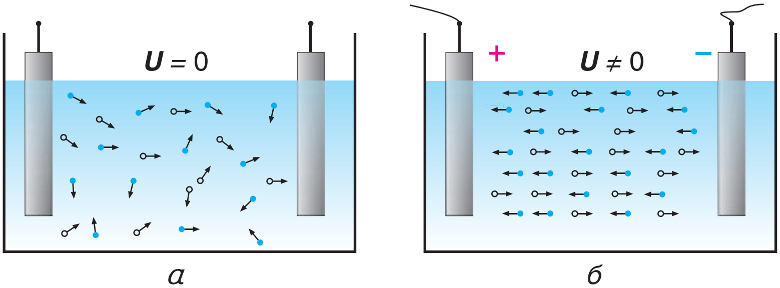
Наадварот, у такіх устройствах, як калькулятар або электронны гадзіннік, сіла току амаль у мільярд разоў меншая за 1 А, таму сілу току выражаюць часта ў міліамперах (мА), мікраамперах (мкА):

$$1\ мА = 0{,}001\ А = 1 \cdot 10^{-3}\ А; \quad 1\ мкА = 0{,}000001\ А = 1 \cdot 10^{-6}\ А.$$

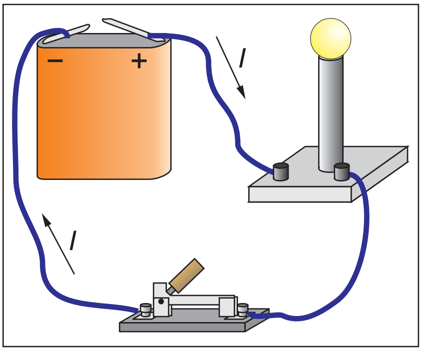
Ведаючы адзінку сілы току, мы можам даць і строгае азначэнне адзінцы электрычнага зараду. Падставіўшы адзінкі сілы току і часу ў формулу $q = It$, атрымаем $1\ Кл = 1\ А \cdot 1\ с$.

Адзін кулон — гэта зарад, які прайшоў праз папярочнае сячэнне праваднікa з токам сілай 1 А за 1 с.

Які ж напрамак электрычнага току? У металах ток — гэта рух электронаў, але ў газах і растворах (успомніце дослед з растворам меднага купарвасу) — гэта рух дадатных і адмоўных іонаў у **процілеглых напрамках** (мал. 136, *а*, *б*).



Мал. 136



Мал. 137

Дамовіліся лічыць, што ток у правадніку накіраваны так, як рухаюцца ў ім (або рухаліся б) **дадатна** зараджаныя часціцы.

Значыць, ток у ланцугу праходзіць ад дадатнага полюса «+» крыніцы да адмоўнага «–» (мал. 137).

Пасля адкрыцця электрона, які ў большасці выпадкаў з'яўляецца носьбітам току, стала зразумелым, што выбар быў зроблены няўдала, але старую дамоўленасць змяняць не сталі.

Галоўныя вывады

1. Сіла электрычнага току — фізічная велічыня, лікава роўная зараду, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка за адзінку часу.

2. Асноўная адзінка сілы электрычнага току ў СІ — 1 ампер — выбрана па дамоўленасці.

3. Адзінка электрычнага зараду 1 Кл — гэта зарад, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка з токам сілай 1 А за 1 с.

4. За напрамак току выбраны напрамак руху дадатна зараджаных часціц.

Кантрольныя пытанні

1. Што характарызуе сіла электрычнага току?
2. Што прынята ў СІ за адзінку сілы току?
3. У якіх адзінках у СІ вымяраецца электрычны зарад?
4. Што прынята за напрамак электрычнага току?
5. Ці супадае напрамак электрычнага току з напрамкам руху зараджаных часціц?

Практыкаванне 14

1. Ці аднолькавы фізічны сэнс у выказаных двух фактах: а) у правадніку прайшоў вялікі зарад; б) у правадніку прайшоў ток вялікай сілы?

2. Ці можа ў правадніку праходзіць ток: а) вялікай сілы I пры невялікім перанесеным зарадзе q; б) невялікай сілы I пры вялікім перанесеным зарадзе q?

3. Знайдзіце сілу току ў мініяцюрнай лямпачцы, калі за час $t = 1{,}0$ г яе свячэння праз сячэнне ніткі прайшоў зарад $q = 7{,}2$ Кл.

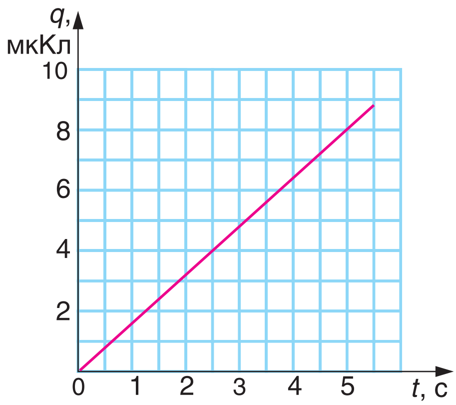
4. У фотаўспышцы зарад $q = 0{,}24$ Кл праходзіць праз спецыяльную лямпу за час $t = 0{,}0020$ с. Чаму роўна сярэдняя сіла току ў лямпе-ўспышцы? Чаму мы гаворым тут аб сярэдняй сіле току?

5. Якая колькасць электрычнасці праходзіць за час $t = 2{,}0$ г бесперапыннай работы зварачнага апарата пры сіле току $I = 75$ А? Колькі электронаў праходзіць праз сячэнне праваднікa за гэты час?

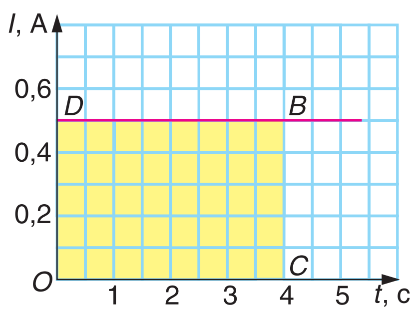
6. Якая сіла току ў праваднікy, праз папярочнае сячэнне якога праходзяць $N = 1{,}0 \cdot 10^{18}$ электронаў за час $t = 1{,}0$ с?

7. Па графіку залежнасці перанесенага зараду ад часу (мал. 138) знайдзіце сілу току ў праваднікy.

8. Па графіку залежнасці сілы току ад часу (мал. 139) знайдзіце зарад, які прайшоў праз папярочнае сячэнне праваднікa за час $t = 3{,}0$ с. Якую фізічную велічыню можна вылічыць, знайшоўшы плошчу прамавугольніка *ODBC*?



Мал. 138

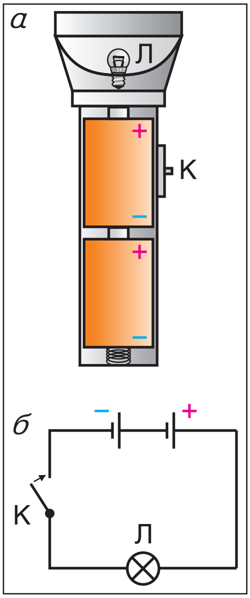


Мал. 139

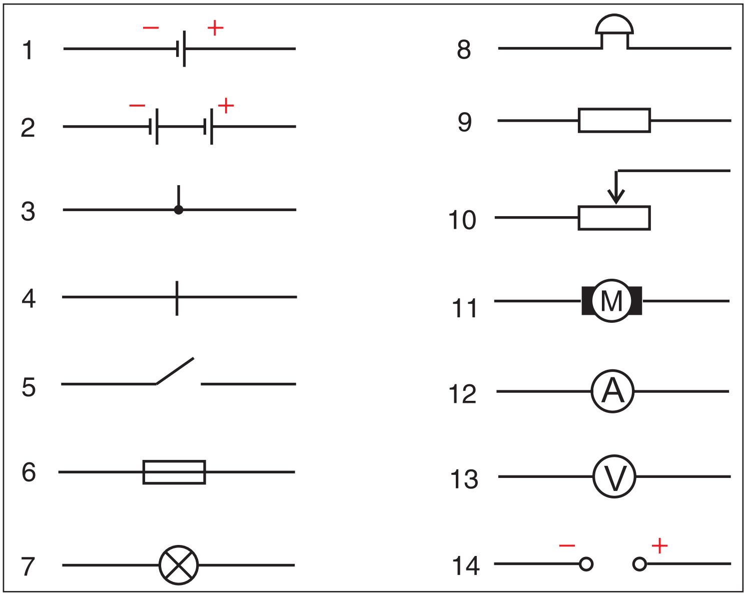
§ 23. Электрычны ланцуг. Вымярэнне сілы току і напружання

Слова «ланцуг» абазначае нешта не суцэльнае, а такое, якое складаецца з асобных звёнаў. З якіх жа звёнаў складаецца электрычны ланцуг?

Электрычны ланцуг змяшчае, па-першае, **крыніцу току**, якая стварае неабходнае напружанне, па-другое, **нагрузку**, г. зн. тое ўстройства, у якім трэба стварыць ток і выкарыстаць адно з яго дзеянняў. Нагрузкай можа быць награвальнік або лямпа напальвання (цеплавое дзеянне), электрарухавік або званок (магнітнае дзеянне), акумулятар (хімічнае дзеянне). Звёнамі ланцуга з'яўляюцца **злучальныя правады** і **ключ**, які служыць для зручнасці і бяспекі работы.



Мал. 140



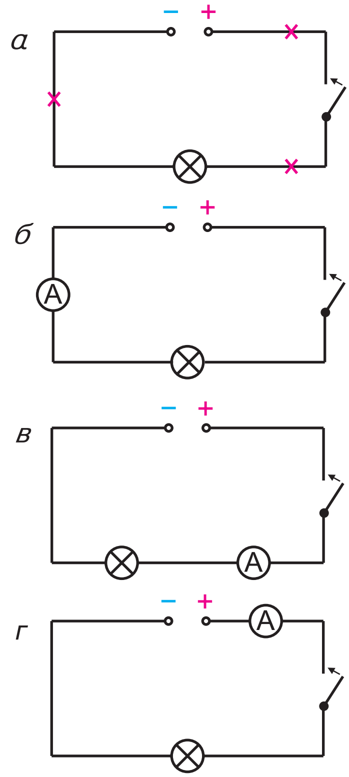
Мал. 141

На малюнку 140, *а* вы бачыце найпрасцейшы ланцуг — ланцуг электрычнага ліхтарыка, а на малюнку 140, *б* — яго ўмоўны відарыс: **схему** электрычнага ланцуга. Пазнаёмцеся з умоўнымі (схематычнымі) відарысамі розных звёнаў ланцуга (мал. 141):

1 — гальванічны элемент або акумулятар;
2 — некалькі элементаў або акумулятараў (батарэя);
3 — злучэнне правадоў;
4 — перасячэнне правадоў (без злучэння);
5 — ключ для ўключэнняў (выключэнняў) ланцуга;
6 — плаўкі засцерагальнік (для аварыйнага разрыву ланцуга);
7 — лямпа напальвання;
8 — электрычны званок;
9 — рэзістар (праваднік, які стварае току значнае процідзеянне) (лац. resister — супраціўляцца);
10 — рэастат;
11 — электрарухавік;
12 — прыбор для вымярэння сілы току (амперметр);
13 — прыбор для вымярэння напружання (вальтметр);
14 — клемы падключэння крыніцы току.



Мал. 142



Мал. 143

Сілу току ў ланцугу вымяраюць з дапамогай спецыяльнага прыбора — **амперметра** (мал. 142). Для вымярэння сілы току ў найпрасцейшым ланцугу (мал. 143, *а*) мы павінны абавязкова разарваць ланцуг у любым месцы і ў гэты разрыў падключыць прыбор (мал. 143, *б, в, г*). Такое падключэнне называюць **паслядоўным**.

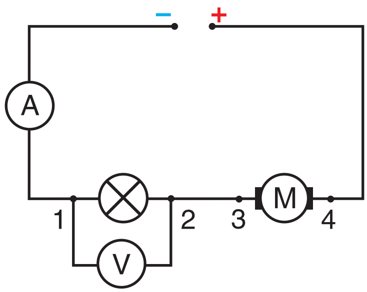
Ва ўсіх выпадках паказанні амперметра будуць аднолькавыя — бо праз любое сячэнне ланцуга (уключаючы крыніцу) праходзіць адзін і той жа электрычны зарад.

Карыстаючыся амперметрам, неабходна выконваць наступнае: па-першае, для кожнага амперметра існуе гранічная сіла току. Так, для паказанага на малюнку 142 прыбора ён роўны $I_{max} = 1,5$ А. Уключэнне прыбора ў ланцуг з большай сілай току недапушчальнае. Па-другое, пры ўключэнні прыбора неабходна **захоўваць палярнасць**, г. зн. клему прыбора, адзначаную знакам «+», падключаць толькі да провада, які ідзе ад клемы «+» крыніцы.



Мал. 144

Электрычнае напружанне характарызуе працаздольнасць поля **паміж двума дадзенымі яго пунктамі**. Таму прыбор, які вымярае напружанне — **вальтметр** (мал. 144) падключаюць не так, як амперметр пры вымярэнні сілы току. Яго падключаюць, не разрываючы ланцуга, да звяна, якое ці-



Мал. 145

кавіць. Так, вальтметр, падключаны да пунктаў *1* і *2* (мал. 145), вымярае напружанне на лямпе, а да пунктаў *3* і *4* (гл. мал. 145) — напружанне на маторы. Дадзенае падключэнне вальтметра называюць **паралельным**. Як і ў выпадку з амперметрам, тут таксама захоўваецца палярнасць пры падключэнні.

Пры вымярэнні электрычнай велічыні важна разумець, што дабаўленне прыбора ў ланцуг можа змяніць яе, што вельмі непажадана. Напрыклад, сіла току ў лямпе пры падключэнні ў ланцуг амперметра (гл. мал. 143, *б, в, г*) будзе не такой, якой яна была раней (гл. мал. 143, *а*). Змяненні адбываюцца і пры падключэнні вальтметра.

Галоўныя вывады

1. Абавязковымі звёнамі ланцуга з'яўляюцца крыніца току, нагрузка, ключ і злучальныя правады.
2. Усякі электрычны ланцуг можа быць паказаны з дапамогай схемы.
3. Амперметр падключаецца ў разрыў ланцуга (паслядоўна).
4. Вальтметр вымярае напружанне паміж двума пунктамі ланцуга і падключаецца да іх без разрыву ланцуга (паралельна).
5. Пры ўключэнні амперметра і вальтметра неабходна захоўваць палярнасць і не перавышаць пры вымярэннях гранічнага значэння сілы току (напружання) прыбора.

Кантрольныя пытанні

1. Якія звёны павінен мець любы электрычны ланцуг?
2. Што называецца схемай электрычнага ланцуга?
3. Для чаго служыць і як уключаецца ў ланцуг: а) амперметр; б) вальтметр?
4. Якія ўмовы неабходна захоўваць пры выкарыстанні гэтых прыбораў?
5. Якое напружанне будзе вымяраць вальтметр, калі яго ўключыць паміж пунктамі *1* і *4* (гл. мал. 145)?

Практыкаванне 15

1. Вызначце цану дзялення дэманстрацыйных амперметра і вальтметра (гл. мал. 142, 144).

2. Ёсць тры прыборы са значэннямі верхніх меж вымярэння $I_{max} = 500$ мА, $I_{max} = 2$ А, $I_{max} = 50$ А. Які з іх вы выбераце для вымярэння сілы току ў

спіралі лямпы, паказанай на малюнку 146? Чаму?

3. Ці можна з дапамогай амперметра вызначыць зарад, які праходзіць праз сячэнне спіралі лямпы за час яе гарэння?

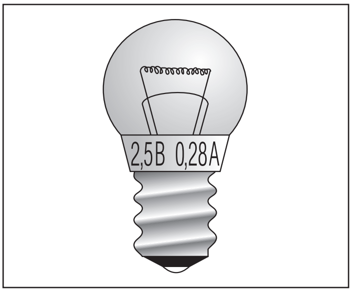
4. Вызначце паказанні амперметра (гл. мал. 143, *б*), калі за час $t = 1{,}0$ мін праз сячэнне спіралі лямпачкі праходзіць зарад $q = 12$ Кл.



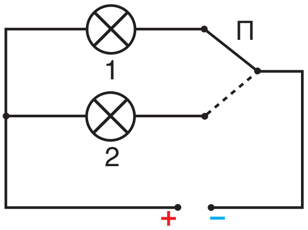
5. Ці можна сцвярджаць, што да і пасля падключэння амперметра (гл. мал. 143, *а*, *б*) у ланцугу праходзіў ток аднолькавай сілы?



6. У ланцугу, які паказаны на малюнку 147, выкарыстаны больш складаны ключ — пераключальнік *П*. Растлумачце работу такога ланцуга. Дапоўніце схему амперметрамі, якія дазволяць вымераць сілу току ў кожнай лямпе.



Мал. 146

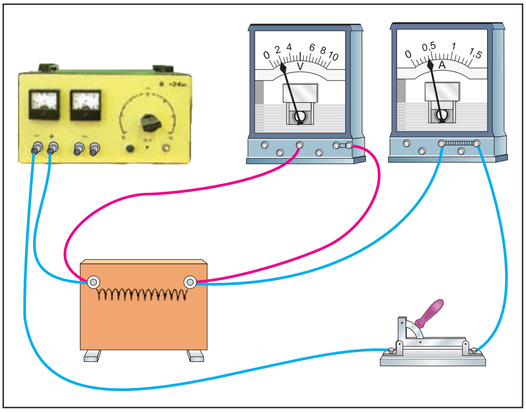


Мал. 147

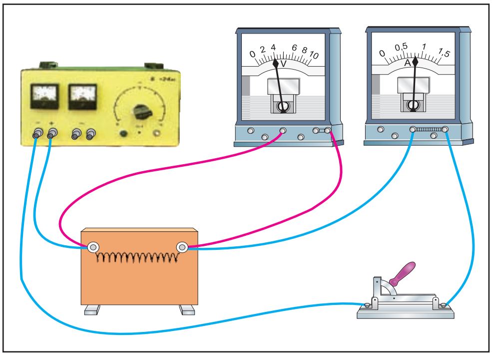
§ 24. Сувязь сілы току і напружання. Закон Ома для ўчастка ланцуга

Ад чаго залежыць сіла току, які праходзіць у правадніку? Чаму сіла току ў зварачным апараце ў мільёны разоў большая, чым у электронным гадзінніку? Для адказу правядзём шэраг нескладаных доследаў.

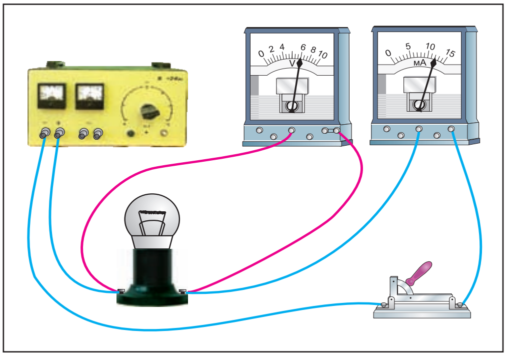
Падключым рэзістар (спіраль з дроту) да крыніцы току, напружанне на выхадзе паміж клемамі якой можна рэгуляваць. З дапамогай паслядоўна падключанага амперметра і паралельна спіралі — вальтметра (мал. 148) будзем вымяраць сілу току і напружанне на спіралі. Установім напружанне на спіралі $U_1 = 2$ В. Замкнём ключ і вымераем сілу току. Яна атрымалася $I_1 = 0{,}4$ А. Павялічым напружанне на спіралі ў 2 (мал. 149), 3 разы, г. зн. $U_2 = 4$ В, а затым $U_3 = 6$ В. Паказанні амперметра таксама павялічыліся: $I_2 = 0{,}8$ А, $I_3 = 1{,}2$ А.



Мал. 148



Мал. 149



Мал. 150

Дослед можна працягваць далей. Але ўжо з гэтых даных вынікае, што **сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна напружанню на правадніку**.

Падключым цяпер да крыніцы току іншую спіраль, напрыклад спіраль асвятляльнай лямпы. Мы бачым, што пры тым самым напружанні $U_3 = 6$ В сіла току ў спіралі лямпы $I_3 = 12$ мА (мал. 150), што ў сто разоў менш, чым у рэзістары-спіралі. Значыць, спіраль лямпы аказвае больш значнае процідзеянне накіраванаму руху зараджаных часціц або валодае ў 100 разоў большым супраціўленнем.

Гэту новую велічыню — **супраціўленне** — мы будзем прыпісваць усякаму правадніку і абазначаць літарай ***R*** (успомніце — resister). Тады можна сцвярджаць: **чым большае супраціўленне правадніка, тым меншая сіла току ў ім** (адваротна прапарцыянальная залежнасць).

Такім чынам, з доследаў вынікае: **сіла току ў правадніку (участку ланцуга) прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню і адваротна прапарцыянальна супраціўленню правадніка (участка ланцуга).**

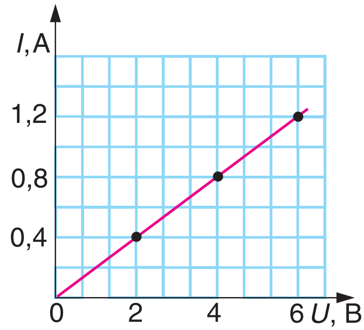
Дадзенае сцвярджэнне называецца **законам Ома для ўчастка ланцуга** ў гонар нямецкага вучонага Г. С. Ома, які ўстанавіў закон у 1826 г. Матэматычна закон Ома можна запісаць:

$$I = \frac{U}{R}.$$

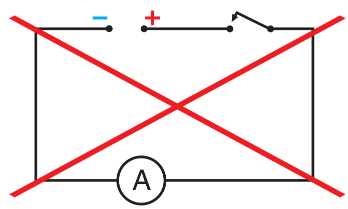
Як і ўсякую заканамернасць, закон Ома можна паказаць графічна.

На малюнку 151 паказаны такі графік для рэзістара-спіралі, які выкарыстоўваўся ў першым доследзе. Графік пацвярджае прамую прапарцыянальную залежнасць сілы току ў правадніку ад прыкладзенага да яго напружання. Гэты графік называецца вольт-ампернай характарыстыкай правадніка (спіралі).

Адзначым, што новая велічыня — супраціўленне — адлюстроўвае процідзеянне асяроддзя руху ў ім носьбітаў зараду (электронаў, іонаў). У злучальных правадах гэта процідзеянне, як правіла, нязначнае, што дазваляе **супраціўленне злучальных правадоў пры рашэнні большасці задач не ўлічваць**.



Мал. 151



Мал. 152

Пэўным супраціўленнем валодаюць і вымяральныя прыборы. Пры ўключэнні паслядоўна ў ланцуг амперметра яго супраціўленне дабаўляецца да поўнага супраціўлення ланцуга. Гэта выклікае непажаданае памяншэнне сілы току. Каб гэтага не здарылася, супраціўленне амперметра павінна быць нязначнае. Ідэальным быў бы амперметр без супраціўлення ($R = 0$). Менавіта такім мы будзем лічыць супраціўленне амперметра ў задачах. Наадварот, дабаўленне вальтметра паралельна некатораму прыбору (лямпачка, матор на малюнку 145) стварае току яшчэ адзін «абыходны» шлях, што таксама рэзка змяняе параметры ланцуга. Каб пазбегнуць гэтых непажаданых наступстваў, трэба прымяняць вальтметры з максімальна вялікім супраціўленнем.

І яшчэ аб вельмі важным. Пры занадта малым супраціўленні ланцуга сіла току ў ім можа прыняць недапушчальна вялікае значэнне. Пры замыканні ланцуга, паказанага на малюнку 152, ток у ім пройдзе, фактычна не зведваючы супраціўлення. Гэта — **кароткае замыканне** ланцуга. У такім рэжыме можа быць сапсаваны і прыбор, і крыніца току, а перагрэў правадоў можа прывесці да пажару.

Галоўныя вывады

1. Сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню і адваротна прапарцыянальна супраціўленню правадніка.
2. Чым меншае супраціўленне амперметра, тым меншыя змяненні выклікае ён пры падключэнні ў ланцуг.
3. Чым большае супраціўленне вальтметра, тым меншыя змяненні ён выклікае пры падключэнні ў ланцуг.
4. Вольт-амперная характарыстыка правадніка ўяўляе сабой графік прама прапарцыянальнай залежнасці сілы току ад напружання.
5. Выкарыстанне ланцугоў без нагрузкі прыводзіць да недапушчальна небяспечнага росту сілы току (кароткага замыкання).

Кантрольныя пытанні

1. Сувязь паміж якімі фізічнымі велічынямі ўстанаўлівае закон Ома для ўчастка ланцуга?
2. Як разумець выраз: «Сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню»?
3. Як разумець выразы: а) праваднік мае вельмі малое супраціўленне; б) праваднік мае вельмі вялікае супраціўленне; в) супраціўленне электразванка ў 5 разоў большае за супраціўленне лямпачкі?
4. Ці можа ў правадніку праходзіць ток: а) вельмі вялікай сілы пры малым напружанні; б) малой сілы пры вялікім напружанні?
5. Што такое кароткае замыканне ланцуга?
6. У чым небяспечнасць кароткага замыкання ланцуга?

§ 25. Адзінка супраціўлення. Разлік супраціўлення

Мы прыпісваем кожнаму правадніку асобую характарыстыку — супраціўленне. Але чаму праваднік «супраціўляецца» накіраванаму руху зараджаных часціц? У якіх адзінках вымяраецца супраціўленне правадніка? Ці можна яго разлічыць?

Прычынай таго, што сіла току ў правадніку не можа мець любое, як заўгодна вялікае значэнне, з'яўляецца бесперапыннае сутыкненне часціц — носьбітаў зараду (электронаў, іонаў) з часціцамі праводзячага асяроддзя (атамамі, малекуламі, іонамі).

Гэта прыводзіць да зніжэння скорасці накіраванага руху носьбітаў зараду, памяншае пераносімы зарад, а значыць, памяншае і сілу току. Менавіта гэтыя сутыкненні і выклікаюць награванне праводзячага асяроддзя.

Выразіўшы супраціўленне з закону Ома: $R = \frac{U}{I}$, увядзём адзінку супраціўлення — **1 Ом** (у гонар Г. Ома):

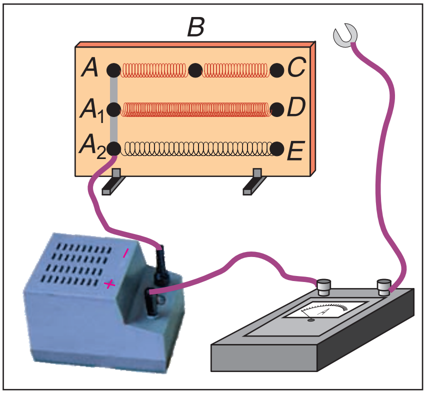
$$\mathbf{1\ Ом = \frac{1\ В}{1\ А}}.$$

1 Ом — гэта супраціўленне правадніка, у якім пры напружанні 1 В праходзіць ток сілай 1 А.

1 Ом — невялікае супраціўленне. У спіралей звычайных электралямп яно складае сотні ом, таму супраціўленне часта выражаюць у кілаомах (кОм) і мегаомах (МОм):

$$1\ кОм = 1000\ Ом = 1 \cdot 10^3\ Ом;$$
$$1\ МОм = 1\ 000\ 000\ Ом = 1 \cdot 10^6\ Ом.$$

Вызначыць супраціўленне праваднікa можна, вымераўшы напружанне U на ім і сілу току I у ім, па формуле: $R = \frac{U}{I}$. Але існуе і спецыяльны прыбор для вымярэння супраціўлення — **омметр**. З найпрасцейшым омметрам вы зможаце пазнаёміцца ў практыкаванні да гэтага параграфа.



Мал. 153

Выведзем формулу для разліку супраціўлення. Для гэтага выкарыстаем ланцуг з крыніцы току, амперметра і панелі з праваднікамі, якія даследуюцца (мал. 153). На панелі замацаваны 3 праваднікі з ніхрому — спецыяльнага сплаву для спіраляў награвальных прыбораў. Адзін з іх AC мае адвод ад сярэдзіны (клема B), два другія ніхромавыя праваднікі складзены разам і ўключаны паміж пунктамі A_1 і D. Чацвёрты праваднік з жалеза ўключаны паміж пунктамі A_2 і E. Усе чатыры праваднікі маюць роўныя даўжыню і плошчу папярочнага сячэння.

Уключаючы ў ланцуг спачатку цэлы праваднік (ланцуг замыкаецца ў пункце C), а затым палову гэтага правадніка (кантакт пераносіцца ў пункт B), вызначаем, што сіла току павялічваецца ў 2 разы. Значыць, супраціўленне цэлага правадніка ў 2 разы большае, чым супраціўленне яго паловы. Інакш кажучы, **супраціўленне правадніка прама прапарцыянальна яго даўжыні.**

Падключым у ланцуг пачаргова адзін праваднік AC, а затым два складзеных разам A_1D. Сіла току ў адным праваднiку AC у 2 разы меншая, чым у складзеных правадніках A_1D, якія можна разглядаць як адзін, але з падвоеным папярочным сячэннем. Значыць, **супраціўленне правадніка адваротна прапарцыянальна плошчы яго папярочнага сячэння**.

Параўнаем цяпер сілы току ў правадніках аднолькавых памераў, але з розных рэчываў: з ніхрому (AC) і з жалеза (A_2E). Аказваецца, што сіла току ў жалезным праваднiку прыкладна ў 10 разоў большая, а супраціўленне ў 10 разоў меншае, чым у ніхромавым. Значыць, **супраціўленне правадніка залежыць яшчэ і ад роду рэчыва, з якога выраблены праваднік.**

Рэзультаты даследаў дазваляюць запісаць формулу для разліку супраціўлення правадніка:

$$R = \rho\frac{l}{S}.$$

Каэфіцыент ρ называюць **удзельным супраціўленнем рэчыва**. Гэта характарыстыка не канкрэтна разглядаемага правадніка, а рэчыва, з якога ён выраб-

лены. У СІ удзельнае супраціўленне $\rho = \frac{RS}{l}$ вымяраюць у Ом · м. Паколькі на практыцы даўжыню праваднікоў вымяраюць звычайна ў метрах, а плошчу папярочнага сячэння ў квадратных міліметрах, то ўдзельнае супраціўленне зручна запісваць у $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Значэнні ўдзельнага супраціўлення для розных рэчываў паказаны ў табліцы 5.

Сэнс дадзеных удзельных супраціўленняў просты. Калі для ніхрому значэнне $\rho = 1{,}1\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, то гэта значыць, што ніхромавы праваднік даўжынёй 1 м і папярочным сячэннем 1 мм^2 валодае супраціўленнем 1,1 Ом.

Табліца 5. **Удзельнае электрычнае супраціўленне некаторых рэчываў (пры t = 20 °C)**

Рэчыва	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Рэчыва	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серабро	0,016	Манганін (сплаў)	0,43
Медзь	0,017	Канстантан (сплаў)	0,50
Золата	0,024	Ртуць	0,96
Алюміній	0,028	Ніхром (сплаў)	1,1
Вальфрам	0,055	Фехраль (сплаў)	1,3
Жалеза	0,10	Графіт	13
Свінец	0,21	Фарфор	$1 \cdot 10^{19}$
Нікелін (сплаў)	0,40	Эбаніт	$1 \cdot 10^{20}$

Звярніце ўвагу на невялікія значэнні ўдзельнага супраціўлення металаў, якія прымяняюцца для электраправодкі: алюмінію і медзі.

Сенсацыяй на пачатку XX ст. было адкрыццё **звышправоднасці**. Пры вельмі значным ахаладжэнні (прыкладна да −270 °C) супраціўленне некаторых металаў рабілася роўным нулю. Звышправодныя металы не награваюцца нават пры вялікай сіле току ў іх. У цяперашні час знойдзены рэчывы, звышправоднасць якіх дасягаецца пры значна меншым ахаладжэнні. На тлумачэнне звышправоднасці вучоным спатрэбілася некалькі дзесяткаў гадоў!

Галоўныя вывады

1. Электрычнае супраціўленне характарызуе ўласцівасць правадніка аказваць процідзеянне накіраванаму руху зараджаных часціц.
2. Прычынай узнікнення супраціўлення з'яўляюцца бесперапынныя сутыкненні зараджаных часціц з часціцамі рэчыва правадніка.
3. Супраціўленне правадніка залежыць ад роду рэчыва і геаметрычных памераў правадніка (даўжыні, плошчы папярочнага сячэння).
4. Адзінкай супраціўлення правадніка з'яўляецца 1 Ом.

Кантрольныя пытанні

1. Што абмяжоўвае значэнне сілы току ў праваднiку?
2. Што прынята ў СІ за адзінку супраціўлення?
3. Як залежыць супраціўленне праваднiка ад яго геаметрычных памераў?
4. Што паказвае ўдзельнае супраціўленне рэчыва?
5. Як разумець: удзельнае супраціўленне свінцу роўна $\rho = 0{,}21\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$?

Прыклады рашэння задач

1. Выразіце ў асноўных адзінках СІ удзельнае супраціўленне свінцу $\rho = 0{,}21\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Рашэнне. Зададзенае значэнне $\rho = 0{,}21\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ паказвае, што свінцовы праваднік даўжынёй $l = 1{,}0$ м і плошчай папярочнага сячэння $S = 1{,}0$ мм^2 мае супраціўленне $R = |\rho| = 0{,}21$ Ом. Выразім гэта значэнне ў асноўных адзінках СІ:

$$\rho = 0{,}21\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 0{,}21\ \frac{\text{Ом} \cdot 0{,}000001\ \text{м}^2}{\text{м}} = 2{,}1 \cdot 10^{-7}\ \text{Ом} \cdot \text{м}.$$

Значэнне $\rho = 2{,}1 \cdot 10^{-7}$ Ом · м азначае, што праваднік даўжынёй $l = 1$ м і плошчай папярочнага сячэння $S = 1$ м^2 мае супраціўленне $R = |\rho| = 2{,}1 \cdot 10^{-7}$ Ом.

Адказ заканамерны: праваднік, сячэнне якога $S = 1$ м^2 у мільён разоў большае за сячэнне $S = 1$ мм^2, павінен мець супраціўленне ў мільён разоў меншае.

2. Пры падключэнні да крыніцы напружаннем $U = 4{,}5$ В нікелінавага праваднiка папярочным сячэннем $S = 0{,}20$ мм^2 праз яго прайшоў ток сілай $I = 300$ мА. Якая даўжыня праваднiка?

Дадзена:

$U = 4{,}5$ В
$S = 0{,}20$ мм^2
$\rho = 0{,}40\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
$I = 300$ мА $= 0{,}30$ А

l — ?

Рашэнне

Выразім супраціўленне праваднiка двума спосабамі: па ўведзенай формуле $R = \frac{\rho l}{S}$ і з дапамогай закону Ома $R = \frac{U}{I}$. Прыраўнуем правыя часткі абедзвюх формул: $\frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I}$. Адсюль $l = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot I}$. Паколькі сячэнне праваднiка зададзена ў мм^2, то запісваць удзельнае супраціўленне ў асноўных адзінках СІ не будзем:

$$l = \frac{4{,}5\ \text{В} \cdot 0{,}20\ \text{мм}^2}{0{,}40\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 0{,}30\ \text{А}} = 7{,}5\ \text{м}.$$

Адказ: $l = 7{,}5$ м.

Практыкаванне 16

1. Провад супраціўленнем $R_0 = 16$ Ом разрэзалі на дзве роўныя часткі. Параўнайце супраціўленні і ўдзельныя супраціўленні новых праваднікоў і зыходнага. Якім будзе супраціўленне двухжыльнага правадніка, які атрыманы з дзвюх палавін зыходнага праводу?

2. Як правільна чытаць формулу $R = \frac{U}{I}$: «супраціўленне правадніка прама прапарцыянальна напружанню і адваротна прапарцыянальна сіле току» або «супраціўленне правадніка роўна адносіне напружання да сілы току»?

3. Чаму роўна сіла току ў правадніку супраціўленнем $R = 2$ кОм пры напружанні на ім $U = 4$ В?

4. Па надпісах на лямпачцы «3,5 В; 0,26 А» знайдзіце супраціўленне яе спіралі.

5. Якое напружанне трэба падаць на праваднік супраціўленнем $R = 20$ Ом, каб стварыць у ім ток сілай $I = 50$ мкА?

6. Выконваючы практычную работу, вучань вымераў сілу току ў рэзістары супраціўленнем $R = 4{,}0$ Ом і напружанне на гэтым рэзістары. Вызначце паказанні вальтметра, калі амперметр паказаў $I = 0{,}30$ А. Начарціце схему такога ланцуга.

7. Якім супраціўленнем валодае маток жалезнага дроту даўжынёй $l = 200$ м і плошчай папярочнага сячэння $S = 2{,}0$ мм^2?

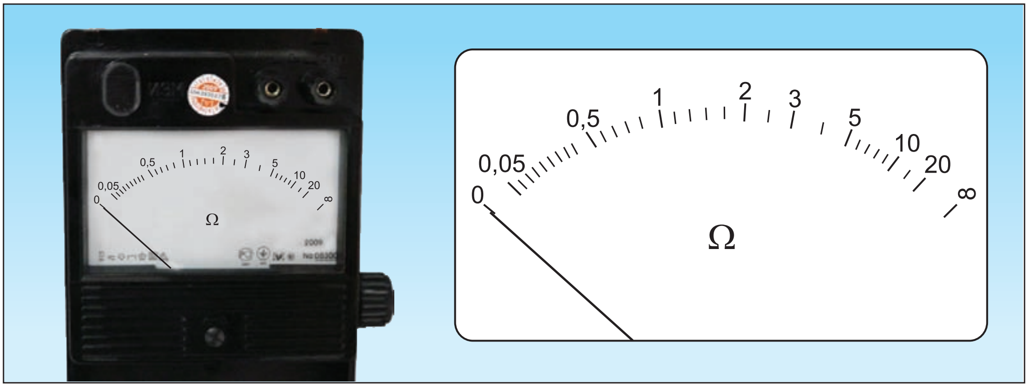
8. Шпуля вымяральнага прыбора супраціўленнем $R = 400$ Ом намотана провадам даўжынёй $l = 80$ м і папярочным сячэннем $S = 0{,}10$ мм^2. З якога матэрыялу выраблены дрот?

9. Свінцовы дроцік плаўкага засцерагальніка мае сячэнне $S = 0{,}50$ мм^2 і даўжыню $l = 2{,}0$ см. Пры якім напружанні сіла току ў дроціку можа прыняць гранічна дапушчальнае значэнне $I_{гр} = 10$ А?

10. Пабудуйце графік залежнасці сілы току ў правадніку супраціўленнем $R = 5{,}0$ Ом ад напружання, якое змяняецца ад 0 В да 20 В. Ад чаго залежыць вугал нахілу графіка?

11. Якім супраціўленнем валодае вальфрамавы дрот папярочным сячэннем $S = 0{,}10$ мм^2 і масай $m = 7{,}72$ г? Шчыльнасць вальфраму $D = 19{,}3\ \frac{г}{см^3}$.

12. Дрот супраціўленнем $R_0 = 8{,}0$ Ом нагрэлі і працягнулі праз вузкую адтуліну (фільеру), што прывяло да падваення яго даўжыні. Якім стала супраціўленне дроту?



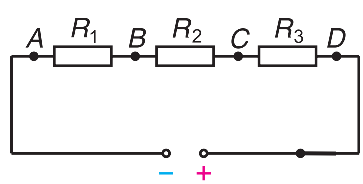
Мал. 154

13. На малюнку 154 паказаны омметр і яго шкала. Галоўнымі часткамі ўстройства з'яўляюцца батарэйка і гальванометр (адчувальны прыбор для вымярэння току). Рэзістар, супраціўленне якога трэба вымераць, падключаецца да заціскачак, замыкаючы такім чынам электрычны ланцуг. Растлумачце прынцып работы такога прыбора і размяшчэнне дзяленняў на яго шкале.

§ 26. Паслядоўнае злучэнне праваднікоў. Рэастат

У найпрасцейшым ланцугу да крыніцы падключаецца адзін спажывец (лямпачка, электраматор, электразванок і г. д.). Але, як вы бачылі ўжо на малюнку 145, у ланцуг можна ўключыць адначасова і некалькі спажыўцоў, злучыўшы іх пэўным чынам. Якім жа заканамернасцям падпарадкоўваюцца ланцугі, якія змяшчаюць некалькі спажыўцоў? Як больш выгадна іх злучаць?

Самым простым відам злучэння з'яўляецца **паслядоўнае**, пры якім праваднікі (спажыўцы), якія злучаюцца, маюць па **аднаму агульнаму пункту** (мал. 155): B — для праваднікоў R_1 і R_2, C — для праваднікоў R_2 і R_3. Паслядоўна мы ўключаем амперметр. У паслядоўным злучэнні выконваюцца тры галоўныя заканамернасці.



Мал. 155

1. Сіла току ва ўсіх праводніках аднолькавая:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I. \qquad (1)$$

2. Напружанне на групе паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме напружанняў на кожным з іх:

$$\boldsymbol{U = U_1 + U_2 + U_3}. \qquad (2)$$

Гэта заканамернасць вынікае з фізічнага сэнсу напружання. Поўная работа электрычных сіл на ўчастку *AD* роўна суме работ, выкананых на ўчастках *AB*, *BC* і *CD* (гл. мал. 155).

3. Па законе Ома $U = IR$, дзе R — супраціўленне ўсяго ўчастка *AD*; $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U_3 = IR_3$.

Падставіўшы гэтыя выразы ў формулу (2), атрымаем: $IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$, або

$$\boldsymbol{R = R_1 + R_2 + R_3}. \qquad (3)$$

Поўнае супраціўленне групы паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме супраціўленняў асобных праваднікоў.

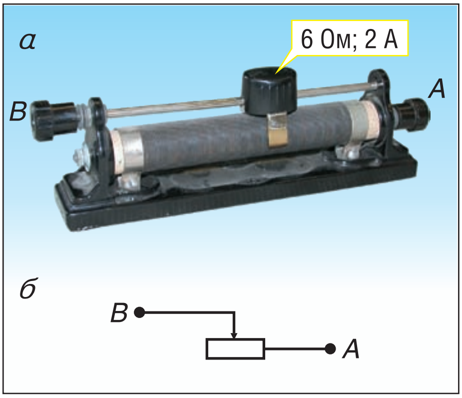
Для выпадку аднолькавых праваднікоў разлік спрашчаецца:

$$\boldsymbol{R = NR_1},$$

дзе N — лік аднолькавых праваднікоў супраціўленнем R_1 кожны.

Рост супраціўлення ланцуга пры дабаўленні ў яго новых праваднікоў тлумачыцца павелічэннем **даўжыні праводзячай часткі**. Гэту ўласцівасць можна выкарыстаць для **памяншэння сілы току** ў ланцугу без зніжэння напружання крыніцы.

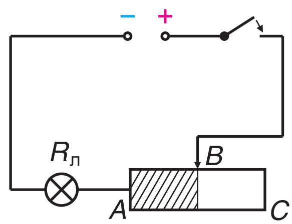
Для практычнага рэгулявання сілы току ў ланцугу зручна прымяняць спецыяльнае ўстройства — **рэастат**.



Мал. 156

На малюнку 156, *а* паказаны знешні выгляд самага простага паўзунковага лабараторнага рэастата. Ён уяўляе сабой доўгі дрот з нікеліну або іншага сплаву з вялікім удзельным супраціўленнем, намотаны на керамічны цыліндр. Адзін канец гэтага дроту выведзены на клему *A*. Па праводзячым стрыжні вельмі невялікага супраціўлення слізгае латунны паўзунок, які шчыльна прыціскаецца да віткоў дроту з абодвух бакоў. Для злучэння з паўзунком служыць клема *B*.

На малюнку 156, *б* схематычна паказаны рэастат, які можна ўключаць у электрычны ланцуг праз клемы *A* і *B*.



Мал. 157

На малюнку 157 добра відаць прынцып работы рэастата. Поўнае супраціўленне ланцуга складаецца з супраціўлення $R_л$ лямпачкі і супраціўлення ўключанай у ланцуг часткі дроту (на малюнку заштрыхавана) рэастата. Незаштрыхаваная частка дроту ў ланцуг не ўключана. Калі змяніць становішча паўзунка, то зменіцца даўжыня ўключанай у ланцуг часткі дроту, што прывядзе да змянення сілы току. Так, калі перасунуць паўзунок у крайняе правае становішча (пункт *C*), то ў ланцуг будзе ўключаны ўвесь дрот, супраціўленне ланцуга стане найбольшым, а сіла току — найменшай.

Існуюць і іншыя тыпы рэастатаў, але ў тэхніцы, напрыклад у электратранспарце, рэгуліроўка сілы току рэастатамі выцясняецца іншымі, больш выгаднымі электроннымі рэгулятарамі. Справа ў тым, што, памяншаючы сілу току ў ланцугу, рэастат сам награваецца, на што расходуецца значная энергія. У **электронных рэгулятарах** гэтыя страты ў дзесяткі і сотні разоў меншыя.

Паслядоўнае злучэнне электрапрыбораў у быце не прымяняецца. Прапануем самастойна падумаць чаму.

Галоўныя вывады

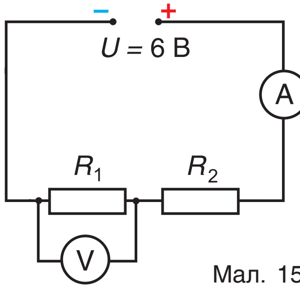
1. Сіла току ў паслядоўна злучаных праваднiках аднолькавая.
2. Напружанне на групе паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме напружанняў на кожным праваднiку.
3. Супраціўленне групы паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме супраціўленняў асобных праваднікоў.
4. Рэастат дазваляе плаўна рэгуляваць сілу току ў ланцугу.

Кантрольныя пытанні

1. Чаму сіла току ў паслядоўна злучаных праваднiках не можа быць рознай?
2. Як звязана напружанне на групе паслядоўна злучаных праваднікоў і на асобных праваднiках? Чаму?
3. Як і чаму змяняецца супраціўленне паслядоўнага ланцуга пры дабаўленні ў яго новых праваднікоў?
4. Які прынцып рэгулявання сілы току ў ланцугу з дапамогай рэастата?
5. Як разумець надпісы «6 Ом; 2 А» на лабараторным рэастаце?

Прыклады рашэння задач

1. Вызначце паказанні прыбораў у ланцугу, якія паказаны на малюнку 158. Супраціўленні рэзістараў $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. На супраціўленне амперметра не звяртаць увагі; супраціўленне вальтметра бясконца вялікае.



Мал. 158

Дадзена:	Рашэнне
$U = 6{,}0$ В $R_1 = 20$ Ом $R_2 = 40$ Ом	Поўнае супраціўленне ланцуга $R = R_1 + R_2 = 60$ Ом. Супраціўленне вальтметра не ўлічваем, паколькі ток у ім практычна не праходзіць. Сіла току: $I = I_1 = I_2 = \frac{U}{R} = \frac{6{,}0\ \text{В}}{60\ \text{Ом}} = 0{,}1$ А.
I — ? U_1 — ?	Напружанне на першым рэзістары: $U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}1\ \text{А} \cdot 20\ \text{Ом} = 2$ В

Адказ: $I = 0{,}1$ А; $U_1 = 2$ В.

2. Колькі мініяцюрных лямпачак супраціўленнем $R_1 = 100$ Ом, разлічаных на сілу току $I_1 = 68$ мА, трэба ўзяць для ёлачнай гірлянды, якая сілкуецца напружаннем $U = 220$ В?

Дадзена:	Рашэнне
$I_1 = 68$ мА $= 0{,}068$ А $R_1 = 100$ Ом $U = 220$ В	Знойдзем напружанне на адной лямпачцы гірлянды: $U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}068\ \text{А} \cdot 100\ \text{Ом} = 6{,}8$ В. Лік лямпачак будзе:
N — ?	$N = \frac{U}{U_1} = \frac{220\ \text{В}}{6{,}8\text{В}} = 32{,}35...$

Лік лямпачак павінен быць **цэлым**, што дае $N = 33$.

Прапануем самім здагадацца, чаму пры акругленні былі парушаны арыфметычныя правілы акруглення.

Адказ: $N = 33$.

Практыкаванне 17

1. Чаму роўна поўнае супраціўленне паслядоўнага ланцуга з рэзістараў $R_1 = 200$ Ом, $R_2 = 0{,}40$ кОм, $R_3 = 500$ Ом?

2. Да крыніцы, напружанне ў якой $U = 12$ В, падключаны паслядоўна рэзістары супраціўленнем $R_1 = 8,0$ Ом і $R_2 = 16$ Ом. Чаму роўна поўнае супраціўленне ланцуга? Якая сіла току ў крыніцы і ў кожным рэзістары? Якое напружанне на кожным рэзістары?

3. Колькі аднолькавых лямпачак, разлічаных на напружанне $U_1 = 12$ В, трэба ўзяць для ёлачнай гірлянды, якая падключаецца да сеткі напружаннем $U = 220$ В?

4. Ці будуць працаваць у намінальным рэжыме дзве лямпачкі з надпісамі «2,5 В; 0,26 А» і «3,5 В; 0,32 А», калі іх злучыць паслядоўна і падключыць да крыніцы напружаннем $U = 6,0$ В?

5. Рэзістар супраціўленнем $R = 8,0$ Ом злучаны паслядоўна з ніхромавым дротам сячэннем $S = 0,22$ мм^2 і даўжынёй $l = 80$ см. Вызначце сілу току у ланцугу пры падачы на яго напружання $U = 12$ В. Якімі будуць напружанні на абодвух праваднiках?

6. Да крыніцы, якая дае напружанне $U = 4,0$ В, далучылі рэзістар супраціўленнем $R_1 = 8,0$ Ом і рэзістар з невядомым супраціўленнем. Вызначце супраціўленне другога рэзістара, калі сіла току ў ланцугу $I = 0,20$ А.

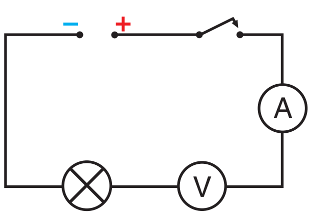
7. Лямпу супраціўленнем $R_1 = 4,0$ Ом, разлічаную на намінальнае напружанне $U_1 = 12$ В, трэба падключыць да крыніцы, якая мае напружанне $U = 15$ В. Якое дадатковае супраціўленне трэба ўключыць у ланцуг? Ці падыдзе для гэтай мэты школьны лабараторны рэастат?

8. Рэзістар супраціўленнем $R_1 = 12$ Ом падключаны паслядоўна з лабараторным рэастатам да крыніцы напружаннем $U = 4,5$ В. Якой будзе сіла току ў ланцугу пры крайніх становішчах паўзунка рэастата і пры ўстаноўцы яго на сярэдзіну?

9. Ці заўсёды можна выкарыстоўваць замест рэастата з надпісамі «6 Ом; 5 А» рэастат з надпісамі «6 Ом; 2 А»? А наадварот?

10. Злучыўшы паслядоўна дзве лямпачкі з надпісамі «12 В; 5 А» і «12 В; 0,2 А», вучань хацеў падключыць гэты ланцуг да крыніцы, якая дае напружанне $U = 24$ В. Аднак настаўнік забараніў яму такое ўключэнне, папярэдзіўшы, што гэта прывядзе да перагарання адной з лямпачак. Якой? Чаму?

11. Вымяраючы напружанне на лямпачцы, вучань памылкова ўключыў вальтметр не паралельна, а паслядоўна з ёй (мал. 159). Ці адаб'ецца такое ўключэнне на свячэнні лямпачкі і на паказаннях амперметра?



Мал. 159

§ 27. Паралельнае злучэнне праваднікоў

Паслядоўна ў ланцуг можна злучаць толькі спажыўцы (лямпачкі, матары і г. д.), разлічаныя на аднолькавую сілу току. Акрамя таго, калі ў такім ланцугу выключыць ток у адным звяне, то разрываецца ўвесь ланцуг. Гэтых недахопаў пазбаўлены ланцуг, у якім спажыўцы злучаны паралельна.

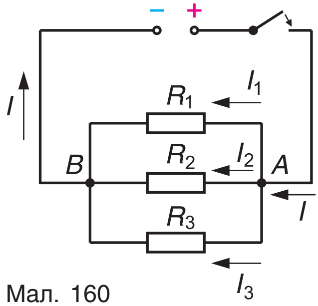
Пры **паралельным** злучэнні праваднікоў яны маюць па **два агульныя пункты** — пункты A і B на малюнку 160. Вынікам гэтага з'яўляецца тое, што **напружанне U паміж пунктамі A і B ёсць напружанне на кожным асобным праваднiку, г. зн.**

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \qquad (1)$$

Гэта першая заканамернасць паралельнага злучэння. **Напружанне на кожным паралельна злучаным праваднiку аднолькавае і роўна напружанню на ўсім участку паралельна злучаных праваднікоў.**

Другая заканамернасць паралельнага злучэння вынікае з таго, што электрычны зарад, які накіравана рухаецца ў ланцугу, не знікае і не ўзнікае з нічога. Ён толькі **падзяляецца на часткі** (у пункце A, гл. мал. 160) з наступным аб'яднаннем у пункце B. Значыць:

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \qquad (2)$$



Мал. 160

Сіла току ў неразгалінаванай частцы ланцуга роўна суме сіл токаў у галінах (асобных паралельна злучаных праваднiках).

Звярніце ўвагу на прынятую тэрміналогію: «галіны ланцуга», «неразгалінаваная частка». Самастойна вызначце, ці будуць сілы току ў галінах (I_1, I_2, I_3 на малюнку 160) аднолькавымі, калі супраціўленні галін неаднолькавыя.

Трэцяя заканамернасць паралельнага злучэння вызначае **агульнае супраціўленне разгалінаванага ўчастка** (участка AB на малюнку 160). Улічым, што сіла току $I = I_1 + I_2 + I_3$, а напружанне $U = U_1 = U_2 = U_3$. Выкарыстоўваючы закон Ома, атрымаем: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$, адкуль:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \qquad (3)$$

Велічыня, адваротная супраціўленню ўчастка паралельна злучаных праваднікоў, роўна суме велічынь, адваротных супраціўленню асобных праваднікоў.

Велічыню $\frac{1}{R}$, адваротную супраціўленню праваднiка, называюць **праводнасцю праваднiка.** Такая назва лагічная. Яна падкрэслівае, што калі праваднік мае **вялікае супраціўленне**, то ў праваднiка **малая праводнасць**. З улікам гэтага трэцюю заканамернасць можна сфармуляваць так: **праводнасць разгалінаванага ўчастка ланцуга роўна суме праводнасцей галін**.

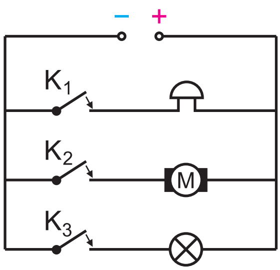
З запісанай формулы вынікае, што **дабаўленне** да паралельнага ўчастка новых праваднікоў памяншае супраціўленне R участка. Гэта тлумачыцца тым, што ўключэнне паралельна дадатковага праваднiка не мяняе даўжыню электрычнага ланцуга, але павялічвае **плошчу папярочнага сячэння** ланцуга. А супраціўленне $R = \rho\frac{l}{S}$ адваротна прапарцыянальна плошчы.

Калі злучаемыя праваднікі аднолькавыя ($R_1 = R_2 = \ldots = R_N$), то разлік супраціўлення спрашчаецца:

$$\frac{1}{R} = N \cdot \frac{1}{R_1},$$

або:

$$\boldsymbol{R = \frac{R_1}{N}}.$$



Мал. 161

Паралельнае злучэнне дазваляе падключыць да крыніцы *незалежна* адзін ад аднаго розныя спажыўцы (мал. 161), нягледзячы на дапушчальнае значэнне сілы току ў іх. Менавіта таму паралельна злучаны ўсе электрапрыборы ў нашых кватэрах, у аўтамабілях, на прадпрыемствах і г. д. Пры разрыве адной галіны астатняя частка ланцуга працуе.

Калі паралельна злучаны толькі два праваднікі, то:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2},$$

што прыводзіць да простага і зручнага выразу для супраціўлення такога ўчастка:

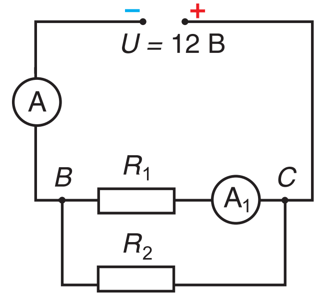
$$\boldsymbol{R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}.$$

Галоўныя вывады

1. Напружанне на паралельна злучаных праваднiках аднолькавае.
2. Сіла току ў неразгалінаванай частцы ланцуга роўна суме сіл току ў галінах.
3. Велічыня, адваротная супраціўленню разгалінаванага ўчастка, роўна суме велічынь, адваротных супраціўленню асобных галін.
4. Паралельна можна злучаць спажыўцы, разлічаныя на розныя сілы току.
5. Чым больш паралельна злучаных праваднікоў складаюць ўчастак ланцуга, тым меншае яго супраціўленне.

Кантрольныя пытанні

1. Чаму аднолькавае напружанне на паралельна злучаных праваднiках?
2. Чаму супраціўленне ўчастка памяншаецца пры паралельным злучэнні дадатковых праваднікоў?
3. Чаму ў кватэрнай і аўтамабільнай праводках не выкарыстоўваюць паслядоўнае злучэнне спажыўцоў?
4. Ці роўныя сілы токаў у паралельна злучаных праваднiках? Ад чаго залежаць іх значэнні?



Мал. 162

Прыклад рашэння задачы

У ланцугу, паказаным на малюнку 162, супраціўленне рэзістара $R_1 = 60$ Ом, а паказанне амперметра А $I = 0{,}50$ А. Знайдзіце паказанні амперметра A_1; поўнае супраціўленне ўчастка BC, супраціўленне рэзістара R_2.

Дадзена:

$U = 12$ В

$R_1 = 60$ Ом

$I = 0{,}50$ А

I_1 — ?

R_{BC} — ?

R_2 — ?

Рашэнне

Паколькі рэзістары падключаны да пунктаў B і C, напружанне на іх роўна напружанню крыніцы $U_1 = U_2 = U_{BC} = U = 12$ В. Адкуль сіла току:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12\ \text{В}}{60\ \text{Ом}} = 0{,}20\ \text{А}.$$

Сіла току ў другім рэзістары:

$$I_2 = I - I_1 = 0{,}50\ \text{А} - 0{,}20\ \text{А} = 0{,}30\ \text{А}.$$

Супраціўленне гэтага рэзістара:

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{12\ \text{В}}{0{,}3\ \text{А}} = 40\ \text{Ом}.$$

Агульнае супраціўленне ланцуга:

$$R_{BC} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60\ \text{Ом} \cdot 40\ \text{Ом}}{100\ \text{Ом}} = 24\ \text{Ом}.$$

Гэты адказ можна было б знайсці і адразу, прымяніўшы закон Ома да ўчастка BC цалкам:

$$R_{BC} = \frac{U}{I} = \frac{12\ \text{В}}{0{,}50\ \text{А}} = 24\ \text{Ом}.$$

Адказы: $I_1 = 0{,}20$ А; $R_{BC} = 24$ Ом; $R_2 = 40$ Ом.

Практыкаванне 18

1. У якіх выпадках сцвярджэнне аб тым, што дабаўленне ў ланцуг яшчэ аднаго рэзістара павялічвае яго супраціўленне, аказваецца няправільным?

2. Знайдзіце супраціўленне ўчастка з двух паралельна злучаных рэзістараў, супраціўленні якіх $R_1 = 200$ Ом, $R_2 = 300$ Ом.

3. Знайдзіце супраціўленне ланцуга з рэзістараў $R_1 = 40{,}0$ Ом, $R_2 = 60{,}0$ Ом, $R_3 = 24{,}0$ Ом, злучаных: а) паслядоўна; б) паралельна.

4. Участак ланцуга агульным супраціўленнем $R = 20$ Ом змяшчае чатыры аднолькавыя рэзістары, злучаныя паралельна. Якім будзе агульнае супраціўленне ўчастка ланцуга пры замене паралельнага злучэння рэзістараў на паслядоўнае?

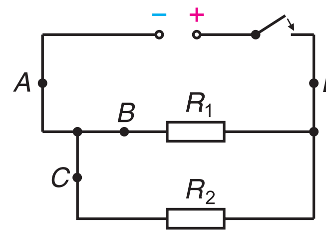
5. Які рэзістар і як трэба падключыць да рэзістара $R_1 = 20$ Ом, каб іх агульнае супраціўленне стала роўным $R = 16$ Ом?

6. Да аўтамабільнага акумулятара напружаннем $U = 12$ В падключаны паралельна дзве лямпачкі супраціўленнямі $R_1 = 20$ Ом і $R_2 = 80$ Ом. Знайдзіце агульнае супраціўленне нагрузкі, напружанне на лямпачках і сілы току ў іх.

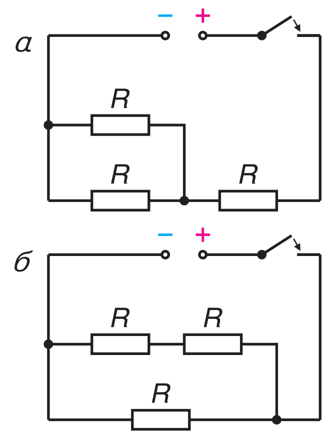
7. Рэзістары $R_1 = 4{,}0$ кОм і $R_2 = 6{,}0$ кОм падключаны да крыніцы напружаннем $U = 12$ *В*. Якімі будуць паказанні амперметра, калі яго ўключыць у ланцуг, зрабіўшы разрыў у пунктах *A*, *B*, *C*, *D* (мал. 163)?

8. Пры падключэнні да крыніцы напружаннем $U = 12$ В двух паралельна злучаных рэзістараў у ланцугу ўзнікае ток сілай $I = 1{,}5$ А. Якое супраціўленне другога рэзістара, калі ў першага яно роўна $R_1 = 10$ Ом? Знайдзіце два розныя спосабы рашэння.

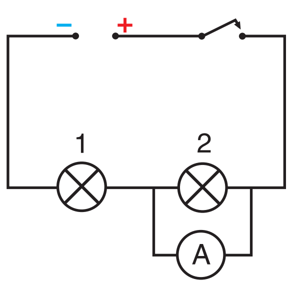
9. Знайдзіце супраціўленне паказаных на малюнку 164, *а*, *б* электрычных ланцугоў. Усе рэзістары аднолькавыя і маюць супраціўленне $R = 30$ Ом кожны.



Мал. 163



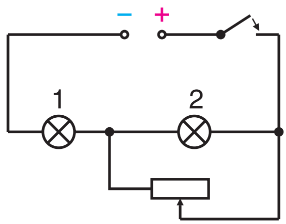
Мал. 164



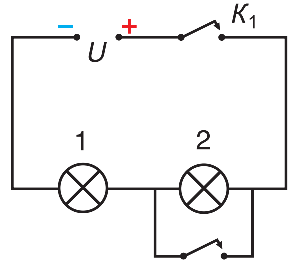
Мал. 165



10. Апішыце з'яву ў ланцугу (мал. 165), калі пры вымярэнні напружання на лямпе *2* да яе замест вальтметра будзе падключаны амперметр.



Мал. 166



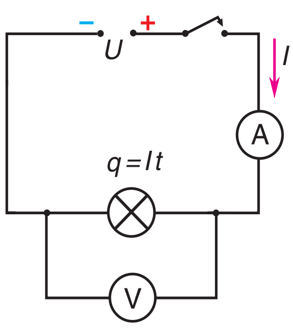
Мал. 167

11. Уключаючы рэастат для змянення сілы току ў лямпах, вучань дапусціў памылку: уключыў яго не паслядоўна, а паралельна да адной з лямпаў (мал. 166). Апішыце рэжым работы такой схемы пры розных становішчах паўзунка рэастата.

12. Дзве аднолькавыя лямпы з рабочым напружаннем $U = 6{,}3$ В падключаюць да крыніцы, якая дае такое напружанне, па схеме, паказанай на малюнку 167. Апішыце рэжым работы лямпаў пры розных становішчах ключоў K_1 і K_2.

§ 28. Работа і магутнасць току. Закон Джоўля — Ленца

Успомнім перш за ўсё, што работу выконваюць сілы, а не целы, і прыведзенае ў назве параграфа словазлучэнне не зусім правільнае. Больш правільна будзе гаварыць аб ***рабоце электрычных сіл****, якія пераносяць зарад у праваднiку і такім чынам ствараюць электрычны ток. Як вызначыць гэту работу?*



Мал. 168

Мы ведаем (гл. § 19), што значэнне гэтай работы прапарцыянальна перанесенаму зараду q і напружанню U паміж пачатковым і канечным пунктамі:

$$A = q \cdot U,$$

дзе U — гэта напружанне на разглядаемым рэзістары (лямпа, электраматор і г. д.), яго мы можам вымераць вальтметрам.

Перанесены зарад q можна знайсці, вымераўшы сілу току I і час t (мал. 168).

Сапраўды, з формулы сілы току $I = \frac{q}{t}$ вынікае $q = It$. Такім чынам, мы прыйшлі да формулы для работы току на ўчастку ланцуга:

$$\boldsymbol{A = IUt.} \tag{1}$$

З формулы (1) вынікае, што калі напружанне выразіць у вольтах, сілу току — у амперах, прамежак часу — у секундах, то работа будзе выражацца ў джоўлях, г. зн. 1 Дж = 1 А · 1 В · 1 с.

Вы ўжо ведаеце, што хуткасць выканання работы характарызуе магутнасць: $P = \frac{A}{t}$. Магутнасць току:

$$\boldsymbol{P = IU.} \tag{2}$$

З формулы (2) магутнасць 1 Вт = 1 А · 1 В.

Калі энергія крыніцы току **ператвараецца толькі ва ўнутраную энергію** (ідзе на награванне праваднік), то, выкарыстоўваючы закон Ома, работу току і магутнасць, можна запісаць інакш. Паколькі напружанне $U = IR$, то $A = IIRt$, або

$$\boldsymbol{A = I^2Rt,} \tag{3}$$

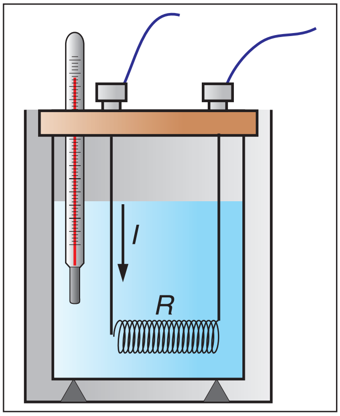
а магутнасць:

$$\boldsymbol{P = I^2R.} \tag{4}$$

Формулы (3) і (4) зручна выкарыстоўваць для ланцугоў з паслядоўным злучэннем праваднікоў, паколькі сіла току ў правадніках аднолькавая.

Сіла току $I = \frac{U}{R}$. Тады $A = \frac{U}{R}Ut$, або

$$\boldsymbol{A = \frac{U^2t}{R}.} \tag{5}$$



Мал. 169

А магутнасць:

$$\boldsymbol{P = \frac{U^2}{R}.} \tag{6}$$

Формулы (5), (6) зручныя для вызначэння работы і магутнасці току ў ланцугах з паралельным злучэннем праваднікоў, напружанне на якіх аднолькавае.

Яшчэ ў першай палове XIX ст. англійскі вучоны Дж. П. Джоўль і рускі вучоны Э. Х. Ленц незалежна адзін ад аднаго з доследу, які схематычна паказаны на малюнку 169, атрымалі формулу для

разліку колькасці цеплаты, якая вылучаецца ў праваднiку пры праходжаннi праз яго току. Прапускаючы ток рознай сілы праз праваднікі рознага супраціўлення і вымяраючы колькасць цеплаты, якая вылучылася, яны прыйшлі да залежнасці:

$$\boldsymbol{Q = I^2Rt}. \qquad (7)$$

Гэты выраз называюць **законам Джоўля — Ленца. Колькасць цеплаты, якая вылучаецца ў праваднiку, прапарцыянальна квадрату сілы току, супраціўленню праваднiка і часу праходжання току.**

Для выражэння вялікіх значэнняў выкананай токам работы шырока выкарыстоўваюць пазасістэмную адзінку **кілават-гадзіна** (1кВт · г). Яна выводзіцца з сувязі магутнасці і работы:

$$A = P \cdot t \text{ (1кВт} \cdot \text{1 г} = \text{1кВт} \cdot \text{г).}$$

Прапаноўваем самастойна даць азначэнне гэтай адзінкі. Яе перавод у адзінкі СІ:

1 кВт · г = 1,0 · 10^3 Вт · 3600 с = 3 600 000 Дж, або **1 кВт · г = 3600 кДж**.

Менавіта ў кВт · г мы вызначаем расход электраэнергіі, а затым яе кошт пры штомесячных разліках з арганізацыямі энергазбыту.

Галоўныя вывады

1. Работу электрычных сіл у праваднiку называюць работай электрычнага току.
2. Работа электрычнага току на ўчастку ланцуга залежыць ад перанесенага зараду і напружання на гэтым участку.
3. Колькасць цеплаты, якая вылучаецца ў праваднiку, прапарцыянальна квадрату сілы току, супраціўленню праваднiка і часу праходжання току.
4. Для прастаты разлікаў у быце электраэнергію выражаюць у кВт · г: 1 кВт · г = 3600 кДж.
5. Магутнасць электрычнага току вызначаецца работай, якая выконваецца ім за адзінку часу.

Кантрольныя пытанні

1. Што называюць работай электрычнага току?
2. Чаму замест формулы $A = qU$ часцей выкарыстоўваюць формулу $A = IUt$?
3. Як быў устаноўлены закон Джоуля — Ленца? Як ён чытаецца?
4. Якія межы для прымяняльнасці формулы работы току $A = I^2Rt$?

Прыклад рашэння задачы

З дапамогай электранагравальніка супраціўленнем $R = 81$ Ом ваду ў аб'ёме $V = 2{,}0$ л награваюць ад тэмпературы $t_1 = 20$ °C да кіпення за час $\tau = 20$ мін. Вызначце ККДз награвальніка, калі напружанне ў сетцы $U = 220$ В.

Дадзена:

$R = 81$ Ом
$U = 220$ В
$V = 2{,}0$ л $= 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ м^3
$t_1 = 20$ °C
$t_2 = 100$ °C
$c = 4{,}2 \cdot 10^3 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ C}$
$\rho = 1{,}0 \cdot 10^3 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
$\tau = 20$ мін $= 1200$ с

η — ?

Рашэнне

Па азначэнні $\eta = \frac{A_{\text{кар}}}{A_{\text{вык}}}$.

Карысная работа роўна павелічэнню ўнутранай энергіі вады, г. зн. колькасці атрыманай ёй цеплаты:

$$A_{\text{кар}} = Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1).$$

Масу вады выразім праз яе шчыльнасць і аб'ём $m = \rho \cdot V$, тады:

$$A_{\text{вык}} = c \cdot \rho \cdot V \cdot (t_2 - t_1).$$

Выкананая токам работа: $A = \frac{U^2 \tau}{R}$.

Значыць, ККДз:

$$\eta = \frac{c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \cdot R}{U^2 \tau}.$$

$$\eta = \frac{4{,}2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 1{,}0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 80 \, {}^\circ\text{C} \cdot 81 \text{ Ом}}{48\,400 \text{ В}^2 \cdot 1200 \text{ с}} \approx 0{,}94, \text{ або } 94 \text{ \%}.$$

Адказ: $\eta = 94$ %.

Практыкаванне 19

1. Ці правільнае сцвярджэнне, што пры вялікім напружанні выконваецца вялікая работа, а пры малым — малая?

2. Якая работа выконваецца электрычным токам у правадніку, у якім пры напружанні $U = 12$ В праходзіць зарад $q = 20$ Кл за час $t = 4{,}0$ с? Якое пры гэтым значэнне магутнасці току?

3. Якую работу выканае за суткі электрычны ток сілай $I = 5{,}0$ мкА у электронным гадзінніку, які працуе ад батарэйкі напружаннем $U = 1{,}5$ В?

4. Растлумачце надпісы на электралямпе «220 В; 25 Вт». Вызначце па іх намінальны рабочы ток электралямпы і супраціўленне яе спіралі. Параўнайце гэтыя характарыстыкі з аналагічнымі характарыстыкамі другой электралямпы з надпісамі «220 В; 100 Вт».

5. Супраціўленне награвальнага элемента электрычнага чайніка $R = 40$ Ом. Вызначце работу і магутнасць току, калі напружанне, ад якога сілкуецца чайнік, $U = 220$ В, а час работы чайніка $t = 4{,}0$ мін.

6. Якая магутнасць і сіла току ў спіралі праса супраціўленнем $R = 44$ Ом пры ўключэнні ў сетку напружаннем $U_1 = 220$ В? Якім павінна быць супраціўленне спіралі, каб прас даваў такі ж нагрэў пры ўключэнні ў сетку напружаннем $U_2 = 110$ В?

7. Электраплітка разлічана на напружанне $U = 220$ В і сілу току $I = 3{,}0$ А. За які час яна выкарыстае энергію току $W = 0{,}66$ кВт · г?

8. Электрапад'ёмнік выкарыстоўвае ток сілай $I = 10$ А пры напружанні $U = 220$ В. Прымаючы ККДз пад'ёмніка $\eta = 80$ %, разлічыце час падымання грузу масай $m = 500$ кг на вышыню $h = 8{,}0$ м.

9. У якой з лямпаў, названых у задачы 4, вылучыцца большая магутнасць, калі іх злучыць паслядоўна і падключыць да якой-небудзь крыніцы?

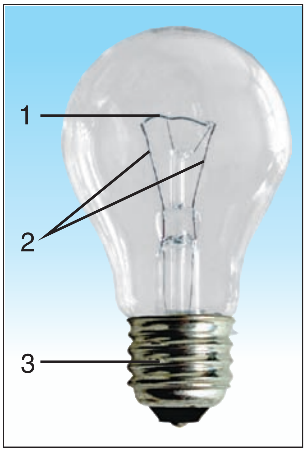
10. Дзве электраплiткі магутнасцямі $P_1 = 600$ Вт і $P_2 = 1200$ Вт злучаны паралельна і падключаны да сеткі напружаннем $U = 220$ В. Якая з электраплітак за адзін і той жа час вылучыць больш цеплаты?

11. Сіла электрычнага току ў кватэрнай электраправодцы не павінна перавышаць $I = 10$ А. Пры большых значэннях сілы току яна плавіцца. Вызначце, якія спажыўцы вы можаце ўключыць адначасова ў сетку напружаннем $U = 220$ В, каб сіла току ў сетцы не перавысіла гранічна дапушчальную. Магутнасць спажыўцоў: пральная машына — $P_1 = 2$ кВт; халадзільнік — $P_2 = 0{,}2$ кВт; тэлевізар — $P_3 = 0{,}3$ кВт; прас — $P_4 = 0{,}8$ кВт; пыласос — $P_5 = 1{,}4$ кВт; электрачайнік — $P_6 = 1{,}2$ кВт; электрапліта — $P_7 = 1{,}8$ кВт; печ-ЗВЧ — $P_8 = 0{,}8$ кВт.

§ 29. Выкарыстанне і эканомія электраэнергіі
(для дадатковага чытання)

Выкарыстанне электрычнасці дазволіла чалавецтву за два мінулыя стагоддзі стварыць устройствы і прыборы, якія радыкальна змянілі яго жыццё. За два гады вывучэння фізікі вы яшчэ не атрымалі дастаткова ведаў, каб зразумець прынцыпы работы многіх з іх; аднак работу і ўстройства некаторых бытавых прыбораў мы паспрабуем вам растлумачыць.

У **лямпе напальвання** (мал. 170) галоўнай часткай з'яўляецца вальфрамавая спіраль *1*, замацаваная на трымальніках *2*. Ток, які падводзіцца да спіралі праз спецыяльны шрубавы патрон *3*, выклікае вылучэнне значнай колькасці цеплаты ў спіралі вельмі малой масы (усяго некалькі грамаў або нават долі грама), што прыводзіць да павышэння яе тэмпературы да 3000 °С і свячэння.

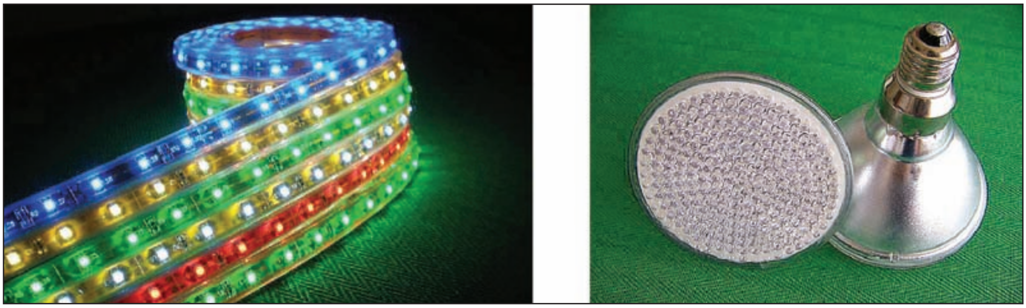


Мал. 170

Першая ў свеце лямпа напальвання была вынайдзена ў 1872 г. рускім інжынерам А. М. Ладыгіным і ўдасканалена ў 1879 г. амерыканцам Т. А. Эдысанам, які прымяніў у ёй вальфрамавую спіраль. У Расіі быў упершыню адкрыты і выкарыстаны для асвятлення дугавы разрад, у якім цеплата вылучалася не ў цвёрдым целе, а ў прамежку паміж двума электродамі (гл. мал. 93). Электрычная дуга, адкрытая яшчэ ў 1802 г. В. У. Пятровым, шырока прымяняецца не толькі для асвятлення, але і для зваркі металаў.


Мал. 171

Аднак пры прастаце канструкцыі і зручнасці ўключэння лямпы напальвання маюць і велізарныя недахопы. Яны ператвараюць у светлавое выпраменьванне ўсяго толькі 3—5 % электраэнергіі, якая падводзіцца, г. зн. яны больш грэюць, чым свецяць. Таму ў апошнія гады ўсё часцей выкарыстоўваюцца больш дарагія **газаразрадныя** лямпы (мал. 171), у якіх ток праходзіць не праз металічную спіраль, а праз сумесь газаў. Газаразрадная энергазберагальная лямпа, выкарыстоўваючы магутнасць усяго 20 Вт, дае такі ж светлавы паток, як і лямпа напальвання магутнасцю 100 Вт. Аднак і гэтыя лямпы ўжо пачынаюць выцясняцца святлодыёднымі лямпамі (мал. 172).


Мал. 172



Мал. 173



Мал. 174



Мал. 175

Ператварэнне электрычнай энергіі ва ўнутраную адбываецца і ў **электранагравальных** прыборах: прасе, паяльніку, кіпяцільніку, электрачайніку (мал. 173, *а*). Усе яны маюць **награвальны элемент** (мал. 173, *б*) з матэрыялу (звычайна сплаў) дастаткова вялікага супраціўлення.

А вось у **мікрахвалевай печы** (мал. 174) такога элемента няма. Дзякуючы магнітнаму дзеянню току награванне адбываецца па прычыне праходжання току **праз самую ежу**: кавалак мяса, бульбу і г. д., якія з'яўляюцца добрымі праваднікамі.

На жаль, мы не можам растлумачыць цяпер прынцып работы іншых, больш складаных бытавых устройстваў. Адзначым толькі, што ўсе яны: камп'ютар, тэлевізар, тэлефон (сеткавы і мабільны), плеер (мал. 175), халадзільнік, пральная машына выкарыстоўваюць **магнітныя дзеянні току**.

Рост колькасці электраўстройстваў у быце і на вытворчасці робіць усё больш важнай задачу **эканоміі электраэнергіі**. Гэта праблема вырашаецца ў двух напрамках.



Мал. 176

Па-першае, гэта пошукі новых энергазберагальных тэхналогій і ўстройстваў. І гэта не толькі пераход да новых, больш эканомных электралямпаў, але і стварэнне новых мадэляў тэлевізараў, халадзільнікаў, транспартных сродкаў. Так, распрацаваны ў беларускім аб'яднанні «Белкамунмаш» безрэастатны спосаб рэгулявання сілы току дазволіў у тры разы паменшыць выкарыстанне току тралейбусам.

Беларускі тралейбус у цяперашні час прызнаны ва ўсім свеце (мал. 176).

Другі напрамак, які дазваляе значна паменшыць выкарыстанне электраэнергіі, — гэта **павышэнне культуры энергакарыстання**.

Часта мы, выходзячы на перапынак, не выключаем у класе асвятленне або выкарыстоўваем дома на лесвічнай пляцоўцы магутную лямпачку. З закону захавання і ператварэння энергіі вынікае: чым менш электраэнергіі выкарыстоўваем, своечасова выключаючы святло і выкарыстоўваючы эканомныя лямпачкі, тым менш паліва (газ, мазута) расходуецца на электрастанцыі, дзе пры адключэнні лішняй нагрузкі «разумныя» дазіруючыя ўстройствы хутка і дакладна скароцяць яго падачу.



Мал. 177

Не будзем забываць аб магчымасці выкарыстання прыродных крыніц энергіі: ветру і асабліва Сонца. Так, праблему атрымання гарачай вады для летняга доміка (дачы) можна вырашыць двума рознымі спосабамі. Можна купіць у магазіне водаэлектранагравальнік магутнасцю больш за 2 кВт і павялічыць праблему расходу электраэнергіі. А можна сканструяваць сонечны награвальнік, выкарыстаўшы пафарбаваную чорнай фарбай ёмістасць (бочку) (мал. 177). Закрыйце яе з усіх бакоў, акрамя паўднёвага, цеплаізалятарам (шклавата, пенапласт і нават мох) і забяспечце ўстройства павернутай да Сонца зашклёнай рамай. Вы зможаце прымаць цёплы душ з красавіка па верасень.

Адзначым таксама, што ў нашы кватэры і на прадпрыемствы паступае **пераменны ток**, які бесперапынна (50 разоў у секунду) змяняе свой напрамак. Цеплавое дзеянне электрычнага току не залежыць ад яго напрамку. Калі ж трэба выкарыстаць магнітнае дзеянне току (напрыклад, у радыёпрыёмніку) або хімічнае дзеянне (пры зарадцы акумулятара), то карыстаюцца выпрамляльнікамі — устройствамі, якія дазваляюць току праходзіць толькі ў адным напрамку.

Галоўныя вывады

1. У бытавых устройствах выкарыстоўваюцца цеплавое і магнітнае дзеянні току.

2. Для награвання цел можна выкарыстаць награвальны элемент або стварыць электрычны ток у самім целе.

3. Эканомія электраэнергіі дасягаецца ўдасканаленнем тэхналогій і абсталявання, а таксама высокай культурай энергакарыстання.

Кантрольныя пытанні

1. Якія дзеянні току выкарыстоўваюцца ў бытавых электрычных устройствах?
2. У чым вартасці і недахопы лямпы напальвання?
3. Ці можна нагрэць цела з дапамогай электрычнага току, не выкарыстоўваючы награвальную спіраль?
4. Чаму ў мікрахвалевай печы награваецца ежа і амаль не награваецца талерка, на якой яна ляжыць?

Практыкаванне 20

1. Чаму пры роўнай сіле току спіраль лямпы напальвання распаляецца амаль да 3000 °C, а падводзячыя правады толькі нязначна награваюцца?

2. Праваднікі супраціўленнямі $R_1 = 5{,}0$ Ом і $R_2 = 15$ Ом злучаны паслядоўна. У якім з іх вылучаецца больш цеплаты?

3. Якімі будуць суадносіны колькасцей цеплаты, калі праваднікі, названыя ў заданні 2, уключыць у ланцуг паралельна адзін аднаму?

4. Як будзе грэць бытавая электраплітка, спіраль якой пры рамонце стала карацейшай?

5. Чаму нельга вымаць з вады ўключаны электракіпяцільнік?

6. Колькі літраў вады можна давесці да кіпення ад пачатковай тэмпературы $t_1 = 10$ °C, затраціўшы электраэнергію $W = 1{,}0$ кВт · г?

7. Не маючы ў запасе спіралі для 300-ватнай лабараторнай пліткі, лабарант узяў 600-ватную спіраль і, разрэзаўшы яе папалам, уставіў адну з дзвюх палавін замест перагарэўшай 300-ватнай. Ці правільна ён зрабіў?

8. Чаму, нягледзячы на бесперапыннае вылучэнне цеплаты, тэмпература электрапліткі не павышаецца бязмежна, а дасягае пэўнага значэння? Ад чаго залежыць гэта значэнне?

9. Матор, абмотка якога мае супраціўленне $R = 10$ Ом, выкарыстоўвае ад сеткі напружаннем $U = 120$ В ток сілай $I = 1$ А. Разлічыце для дадзенага выпадку магутнасць па формулах $P = IU$ і $P = I^2R$ і параўнайце атрыманыя рэзультаты. Дайце ім тлумачэнне. Ці выконваецца для электраматора закон Ома для ўчастка ланцуга?

§ 30. Бяспека пры рабоце з электрычнымі ланцугамі
(для дадатковага чытання)

Электрычнасць, якая дала чалавеку вялікія магчымасці авалодання прыродай, тоіць у сабе скрытую небяспеку. Пазнаёмімся з двума асноўнымі відамі небяспекі, якая ўзнікае пры рабоце з рознымі электрычнымі ланцугамі.

Па-першае, цела чалавека, якое складаецца больш чым на дзве трэці з вадкасці, з'яўляецца добрым праваднікам. Толькі значнае супраціўленне — дзясяткі і нават сотні кілаом, якое мае загрубелая скура рук, перашкаджае праходжанню праз цела току вялікай сілы. Таму пры малых напружаннях у некалькі вольт праз нас праходзіць ток сілай у долі міліампера, які мы нават не адчуваем. Але, ужо пачынаючы з напружання $U = 36$ В, узросшая сіла току можа выклікаць значнае біялагічнае дзеянне, а ток сілай, большай за $I = 100$ мА, як правіла, выклікае смерць. Таму ўважліва і сур'ёзна адносьцеся да тых правілаў тэхнікі бяспекі, якія вам паведамляе настаўнік перад правядзеннем лабараторных работ. Любы рамонт дома (нават замену лямпачак) выконвайце **толькі пры адключаным напружанні**.

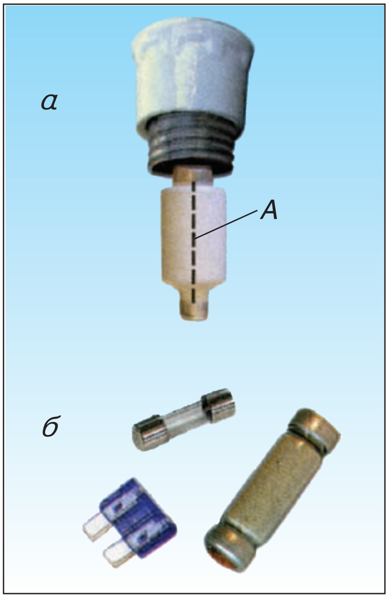


Мал. 178

Другі від небяспекі пры выкарыстанні электрычнага току звязаны з тым, што вылучэнне цеплаты адбываецца не толькі ў нагрузцы (лямпачцы, маторы), але і **ў падводзячых правадах** і крыніцы. Пры невялікіх токах гэта цеплата вельмі нязначная, але пры значных токах яна рэзка нарастае, праводка моцна награваецца, што можа прывесці да пажару. Асабліва моцны нагрэў будзе ў месцах з дрэнным злучэннем правадоў (вілкі, штэпсельныя гнёзды).

Такая сітуацыя можа ўзнікнуць, па-першае, пры падключэнні адначасова **занадта вялікай колькасці спажыўцоў:** абагравальніка, пральнай машыны, кіпяцільніка, праса і г. д. Акрамя таго, гэта сітуацыя непазбежная пры **кароткім замыканні** ў ланцугу (гл. § 24). Пры кароткім замыканні (мал. 178) пашкоджваецца не толькі праводка, але і сама **крыніца** (аўтамабільны акумулятар), якая пераграваецца токам велізарнай сілы.

Для хуткаснага разрыву ланцуга ў такіх выпадках служаць **засцерагальнікі** (мал. 179).



Мал. 179



Мал. 180

Самы просты засцерагальнік — **плаўкі** — уяўляе сабой свінцовы дроцік *А* (мал. 179, *а*), які ўключаецца ў ланцуг паслядоўна. Пры дасягненні ў ланцугу току пэўнай сілы (яе значэнне заўсёды запісана на засцерагальніку) тонкі дроцік награваецца і расплаўляецца, разрываючы перагружаны ланцуг. Ліквідаваўшы прычыну перагрузкі, неабходна паставіць **новы засцерагальнік**, разлічаны на той самы гранічны ток. Ніколі не трэба замяняць засцерагальнік кавалачкам меднага дроту (яго часта называюць «жучком»). Ён можа згарэць пасля таго, як пачне гарэць ад перагрэву ізаляцыя дроту або безнадзейна сапсуецца крыніца току — акумулятар аўтамабіля. На малюнку 179, *б* паказаны іншыя віды плаўкіх засцерагальнікаў.

Другі распаўсюджаны від засцерагальніка — **аўтаматычны** (мал. 180), які разрывае ланцуг пры дасягненні пэўнай сілы току. У адрозненне ад плаўкага гэты засцерагальнік не разбураецца і можа быць зноў уведзены ў рабочы стан.

Галоўныя вывады

1. Небяспека пры рабоце з электрычнымі ланцугамі звязана з магчымасцю паражэння чалавека токам і ўзнікнення пажаранебяспечнай сітуацыі.

2. Засцерагальнікі служаць для хуткаснага разрыву ланцугоў пры перагрузках і кароткіх замыканнях.

Кантрольныя пытанні

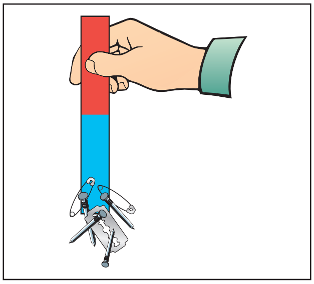
1. Чаму ў практычных работах забаронена выкарыстанне напружання, якое перавышае 36 В?
2. Што такое перагрузка ланцуга? Чым яна небяспечная?
3. Чаму дрот плаўкага засцерагальніка робяць са свінцу?
4. Ці правільнае сцвярджэнне, што засцерагальнік не дапускае ўзнікнення перагрузак і кароткіх замыканняў?
5. Чаму неабходна кантраляваць мацаванне правадоў у штэпсельных вілках і разетках?

§ 31. Пастаянныя магніты

Да гэтага часу мы разглядалі электрычныя з'явы. Вывучаючы дзеянні электрычнага току, мы выявілі яго магнітнае дзеянне. Ужо з гэтага факта вынікае, што электрычныя і магнітныя з'явы звязаны паміж сабой. У чым сутнасць магнетызму?

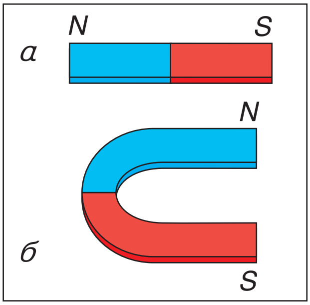
Для адказу пазнаёмімся спачатку з уласцівасцямі пастаянных магнітаў.

Гісторыя магнетызму ідзе каранямі ў глыбокую старажытнасць, да антычных цывілізацый Малой Азіі. У старажытным горадзе Магнесія на тэрыторыі Малой Азіі была знойдзена горная парода, узоры якой прыцягваліся адзін да аднаго. Па назве горада іх пачалі называць магнітамі (грэч. magnẽtis — магнітны).



Мал. 181

Вы ўсе добра ведаеце ўласцівасці магніта прыцягваць да сябе жалезныя і стальныя прадметы: гайкі, шайбы, скрэпкі, кнопкі (мал. 181). Многія з вас выкарыстоўвалі магніт для збірання цвікоў, якія рассыпаліся. Вядома, што магніт не прыцягвае целы з каляровых металаў (медзь, алюміній і інш.). Сустракаюцца магніты розных формаў, але найбольш распаўсюджаныя **паласавы** і **падкавападобны** (мал. 182, *а*, *б*). Такія магніты ёсць у любым кабінеце фізікі.

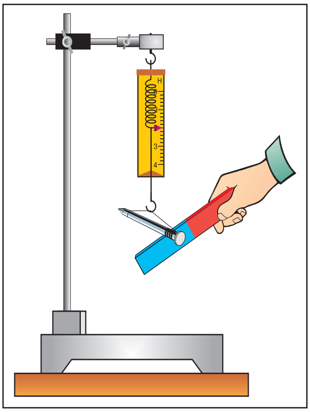


Мал. 182

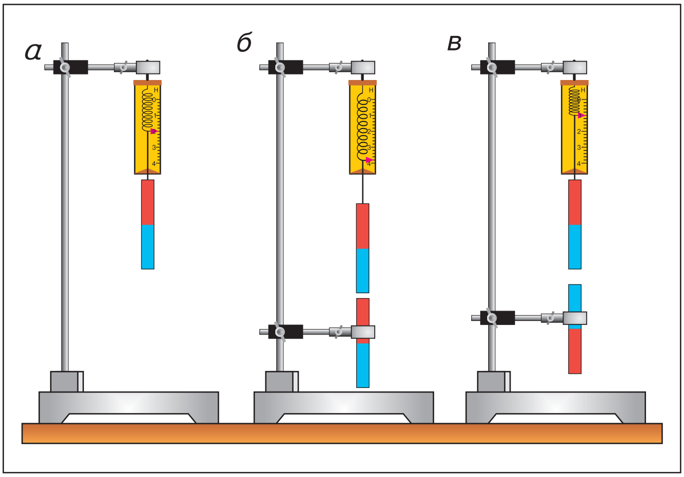
Здольнасць магніта прыцягваць можна вывучыць з дапамогай дынамометра з жалезным цвіком (мал. 183). Падносячы яго да розных участкаў магніта, можна выявіць, што прыцяжэнне найбольш моцнае на канцах магніта. Іх называюць **полюсамі** магніта: **паўночным** (абазначаюць літарай ***N***) і **паўднёвым** (абазначаюць літарай ***S***). Выяўлена, што пасярэдзіне магніта прыцяжэння няма. Гэта — **нейтральная зона**.

Вывучыць узаемадзеянне двух магнітаў можна на доследзе.

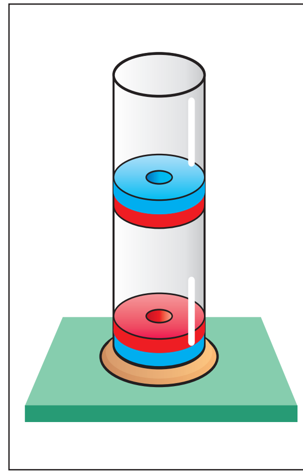
Замацуем магніты: адзін жорстка да штатыва, а другі — да спружыны дынамометра (мал. 184). Па паказаннях дынамометра можна вызначыць сілу пры-



Мал. 183



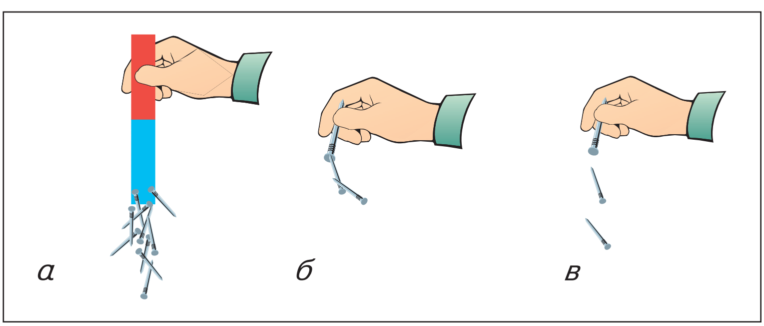
Мал. 184



Мал. 185

цяжэння (мал. 184, *б*) рознаіменных полюсаў і адштурхвання (мал. 184, *в*) аднайменных полюсаў. Сіла ўзаемадзеяння залежыць ад адлегласці паміж полюсамі і можа быць нават большай або роўнай сіле цяжару магніта. Гэта пацвярджае дослед з «лунаючым» у паветры магнітам (мал. 185).

Разглядаючы ланцужок прыцягнутых да магніта цвікоў (мал. 186, *а*), можна зрабіць яшчэ адзін вельмі важны вывад. Пад дзеяннем магніта целы (цвікі) могуць намагнічвацца (мал. 186, *б*), г. зн. самі ператварацца ў магніты. У цвікоў са звычайнага (мяккага) жалеза намагнічанасць пасля аддалення ад магніта практычна поўнасцю знікае (мал. 186, *в*). Але ў сталі і некаторых сплаваў намагнічанасць захоўваецца. Напрыклад, стальныя нажніцы пасля кантакту з магнітам (мал. 187) самі сталі магнітам і намагніцілі лязо брытвы. Магніты, якія ёсць у кабінеце фізікі, зроблены са спецыяльнай сталі і намагнічаны дзеяннем вельмі



Мал. 186

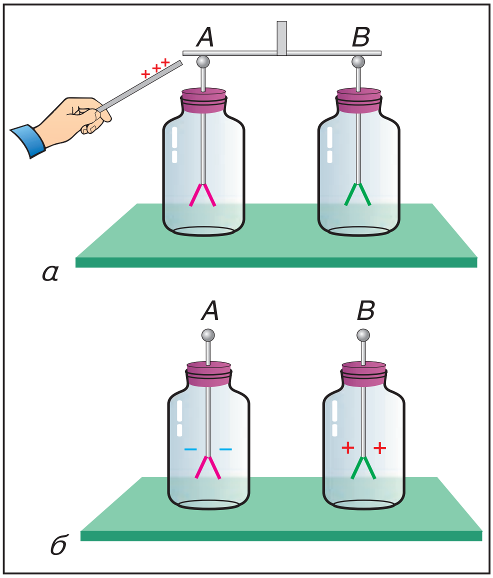


Мал. 187

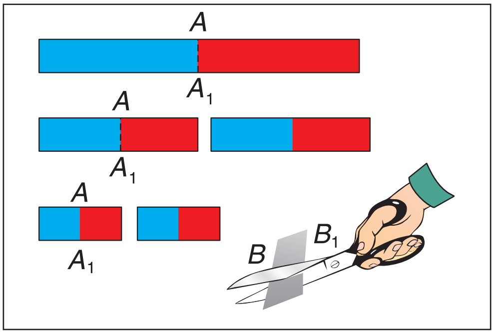
моцнага магніта. Іх полюсы афарбаваны ў традыцыйныя колеры: **паўночны полюс — у сіні, паўднёвы — у чырвоны**. Заўважым, што вельмі моцным награваннем або іншымі ўздзеяннямі любы магніт можна **размагніціць**.

Узаемадзеянне магнітаў мае значнае падабенства з узаемадзеяннем электрычна зараджаных цел. У абодвух выпадках аднайменныя полюсы (зарады) адштурхваюцца, а рознаіменныя полюсы (зарады) прыцягваюцца. Але гэтыя ўзаемадзеянні маюць і вялікія адрозненні. Электрычныя зарады можна адасобіць адзін ад аднаго. Успомніце электрызацыю трэннем і электрызацыю праз уплыў (мал. 188 *а*, *б*). А вось **полюсы магніта непадзельныя**. Разразаючы магніт на часткі (няважна, роўныя або няроўныя), вы не аддзеліце яго полюсы адзін ад аднаго, а будзеце атрымліваць новыя магніты. Кожны з іх будзе мець нейтральную зону і два полюсы: паўночны і паўднёвы (мал. 189).

Узаемадзеяннем магнітаў тлумачыцца прынцып работы компаса (мал. 190). Стрэлка компаса — гэта лёгкі моцны магніт, які можа паварочвацца вакол вертыкальнай восі. З якім жа другім магнітам узаемадзейнічае стрэлка?



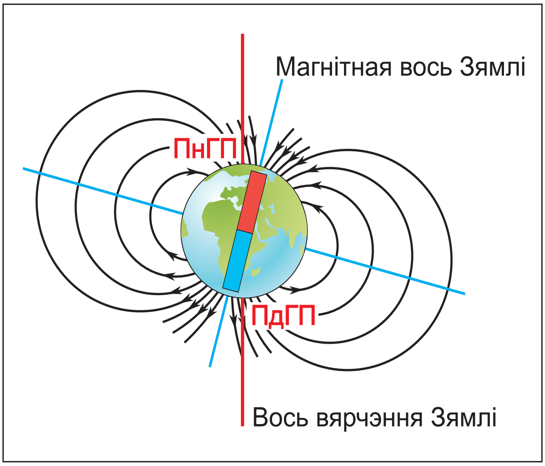
Мал. 188



Мал. 189



Мал. 190



Мал. 191

Такім гіганцкім магнітам з'яўляецца наша Зямля. Упершыню гэта даказаў англійскі даследчык У. Гільберт (1544—1603 гг.). Ён зрабіў з матнітнага жалезняку шар вялікага дыяметра — «магнітны глобус». Абыходзячы шар з компасам, ён паказаў, што арыентацыя стрэлкі ва ўсіх вывучаемых пунктах поўнасцю капіруе яе арыентацыю ў розных пунктах Зямлі.

Магнітныя полюсы Зямлі (мал. 191) размешчаны не надта далёка ад геаграфічных Паўночнага і Паўднёвага полюсаў нашай планеты. Таму вызваленая стрэлка компаса ўстанаўліваецца ў напрамку, блізкім да напрамку зямнога мерыдыяна (з поўдня на поўнач на малюнку 191). Менавіта таму полюсы ўсіх магнітаў атрымалі свае назвы (паўночны, паўднёвы) і абазначэнні (*N*, *S* — ад гал. Nord, Sud). Строга кажучы, стрэлка компаса паказвае напрамак **магнітнага мерыдыяна**. Яе паўночны канец арыентаваны не на Паўночны геаграфічны полюс (ПнГП) планеты, а на **Паўднёвы магнітны полюс Зямлі**.

Надзвычай цікавым і цяжкім для тлумачэння з'яўляецца дакладна даказаны факт змянення становішча магнітных полюсаў Зямлі з цягам часу. Так, шмат гадоў таму Паўднёвы полюс знаходзіўся там, дзе цяпер знаходзіцца Паўночны!

Галоўныя вывады

1. Полюсы магніта непадзельныя.
2. Аднайменныя полюсы магнітаў адштурхваюцца, а рознаіменныя прыцягваюцца.
3. Целы з жалеза, сталі і інш. могуць быць намагнічаны іншым магнітам.
4. Любы пастаянны магніт можа быць поўнасцю размагнічаны.
5. Зямлю можна ўявіць вялікім магнітам, полюсы якога не супадаюць з геаграфічнымі полюсамі.

Кантрольныя пытанні

1. Як эксперыментальна выявіць полюсы і нейтральную зону магніта?
2. Як узаемадзейнічаюць два магніты?
3. Што агульнае і рознае ў электрычных і магнітных узаемадзеяннях?
4. Як можна атрымаць новы пастаянны магніт?
5. Чаму магчыма арыентацыя на Зямлі з дапамогай компаса? Ці з'яўляецца яна дакладнай?

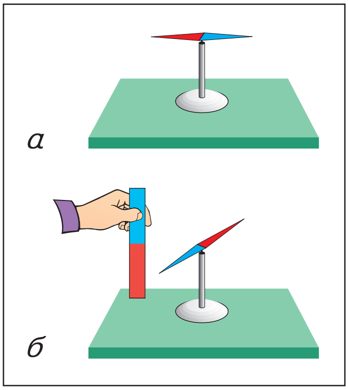
§ 32. Магнітнае поле

*Вам вядома, што целы могуць узаемадзейнічаць на адлегласці без іх непасрэднага кантакту, г. зн. праз поле. Вывучаючы электрычныя з'явы, мы гаварылі аб электрычным полі. Яшчэ раней (у 7-м класе) — аб полі прыцягнення (гравітацыйным полі). Магніты таксама ўзаемадзейнічаюць на адлегласці. Значыць, з любым магнітам звязаны асаблівы стан прасторы — **магнітнае поле**.*

Пры вывучэнні любога фізічнага поля важна адказаць на наступныя пытанні. З якім целам або з'явай звязана дадзенае поле? У чым гэта поле сябе праяўляе? З дапамогай якога цела (індыкатара) можна гэта поле выявіць і вывучыць яго ўласцівасці?

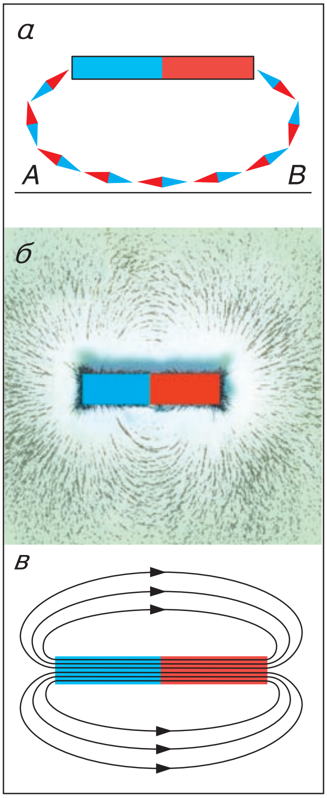
Адказ на першае пытанне просты. Магнітнае поле звязана з любым магнітам. Але гэты зусім правільны адказ тут жа параджае новыя пытанні. Чаму металічны прадмет стаў магнітам? Мы ж можам яго размагніціць!

Падобна да іншых фізічных палёў, магнітнае поле не дзейнічае на нашы пачуцці (зрок, слых, нюх, дотык). Аднак рэальнасць яго існавання праяўляецца ў канкрэтна назіраемым дзеянні. Напрыклад, стрэлка компаса паварочваецца ў магнітным полі Зямлі. Магнітная стрэлка (мал. 192, *а*) і ёсць тое цела, якое дазваляе выяўляць і вывучаць магнітныя палі, напрыклад поле паласавога магніта (мал. 192, *б*).



Мал. 192

Выкарыстоўваючы вялікую колькасць маленькіх магнітных стрэлак (мал. 193, *а*), можна атрымаць наглядную карціну дзеяння магнітнага поля ў прасторы вакол магніта. На практыцы яшчэ больш зручна выкарыстаць дробныя жалезныя апілкі, насыпаныя на кардонны экран. У вывучаемым магнітным полі жалезныя апілкі намагнічваюцца і робяцца маленькімі магнітнымі стрэлкамі. Пры ня-



Мал. 193


Мал. 194

значным трэнні аб кардон гэтыя стрэлкі тут жа арыентуюцца (мал. 193, *б*), паказваючы карціну ліній магнітнага поля (мал. 193, *в*) вывучаемага магніта.

З дапамогай такіх ліній можна паказваць самыя розныя магнітныя палі. Мы ўжо выкарыстоўвалі гэты метад, паказаўшы на малюнку 191 поле Зямлі. Параўнаем малюнкі 193, *а* і 193, *в*. Мы ўбачым, што за напрамак ліній магнітнага поля прымаецца напрамак, у якім магнітнае поле арыентуе **паўночны полюс** магнітнай стрэлкі. Звярніце таксама ўвагу на тое, што ў любога магніта магнітнае поле ёсць і ўнутры яго, а **лініі магнітнага поля замкнутыя** (гл. мал. 193, *в*). Згушчанасць ліній унутры магніта адлюстроўвае тое, што там поле найбольш моцнае.

Магнітнае поле Зямлі мае для нас вялікае значэнне. Бо, акрамя прыемнага, што дарує жыццё ўсяму зямному свету, Сонца выпраменьвае і шчодрыя патокі хуткіх зараджаных часціц. У асноўным гэта электроны і пратоны, якія неспрыяльна дзейнічаюць на ўсё жывое. Менавіта дзякуючы свайму магнітнаму полю наша планета ахавана ад іх згубнага дзеяння. Часціцы абгінаюць Зямлю, часткова пападаюць у своеасаблівыя магнітныя пасткі. Толькі нязначная частка зараджаных часціц можа дасягнуць паверхні планеты, выклікаючы палярныя ззянні (мал. 194) у верхніх слаях атмасферы. У магнітным полі Зямлі часам назіраюцца рэзкія непрацяглыя змяненні («магнітныя буры»), звязаныя з працэсамі, якія адбываюцца на Сонцы. Магнітнымі палямі, хоць і надзвычай слабымі ў параўнан-

ні з зямным, валодаюць і найбліжэйшыя да нас нябесныя целы (Месяц, Марс, Венера).

Галоўныя вывады

1. Рэальнасць магнітнага поля пацвярджаецца яго арыентуючым дзеяннем на магнітную стрэлку.

2. Магнітныя палі зручна паказваць графічна ў выглядзе ліній.

3. Напрамак ліній магнітнага поля ў кожным пункце поля супадае з напрамкам паўночнага полюса зарыентаванай полем магнітнай стрэлкі.

4. На магнітнае поле Зямлі ўплываюць працэсы, якія адбываюцца на Сонцы.

Кантрольныя пытанні

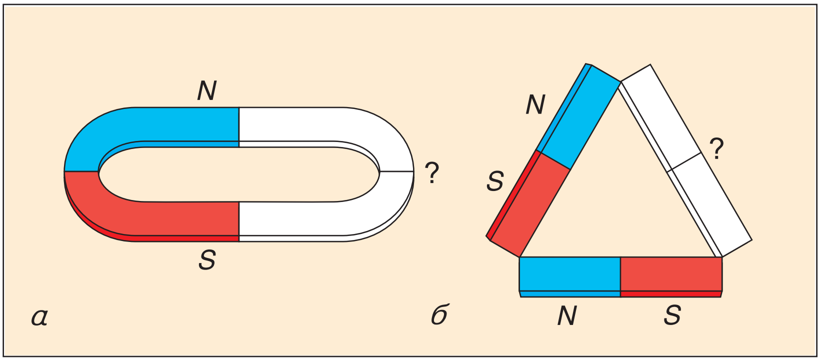
1. Чым пацвярджаецца матэрыяльнасць магнітнага поля?
2. З дапамогай якіх цел можна вывучыць магнітнае поле?
3. Чаму полюсы магніта называюць паўночным і паўднёвым?
4. Што такое лініі магнітнага поля? Што выбрана за напрамак гэтых ліній?
5. З якога полюса пастаяннага магніта выходзяць лініі магнітнага поля? У які ўваходзяць?

Практыкаванне 21

1. Вызначце полюсы невядомых магнітаў у магнітных ланцугах, паказаных на малюнку 195, *а, б*.

2. Ці правільнае сцвярджэнне, што стрэлка компаса паказвае дакладны напрамак на геаграфічную поўнач?

3. Для чаго пры навуковых даследаваннях магнітнага поля Зямлі разам з компасам выкарыстоўваюць прыбор, у якім стрэлка можа паварочвацца вакол гарызантальнай восі (інклінатар)?



Мал. 195

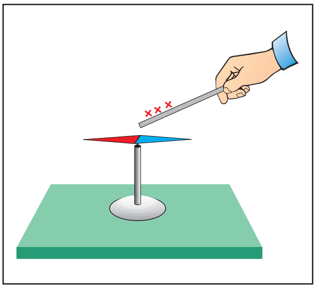
4. Як можна вызначыць, ці намагнічаны або ненамагнічаны жалезны стрыжань: а) з дапамогай компаса; б) з дапамогай ніткі?

5. Як, не выкарыстоўваючы іншых прадметаў, вызначыць, якое з двух нажовачных палотнаў намагнічана, а якое — не?

6. Дакажыце, што лініі магнітнага поля не могуць перасякацца.

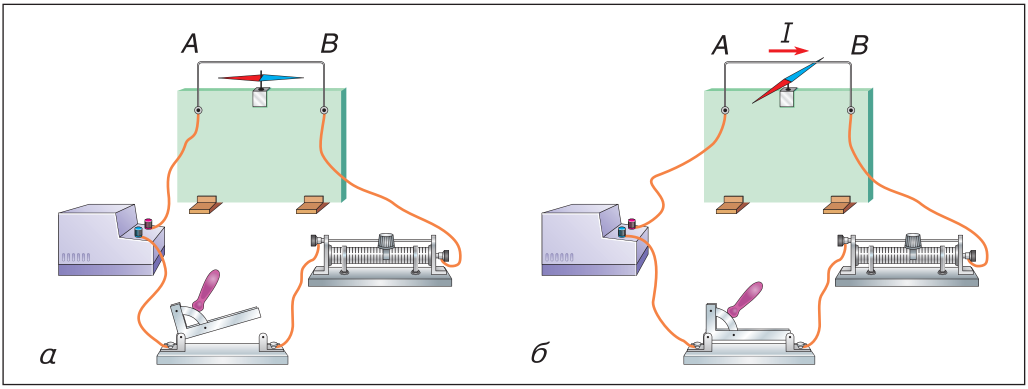
§ 33. Магнітнае поле току

Паднясём да магнітнай стрэлкі наэлектрызаваную шкляную палачку (мал. 196). Стрэлка застанецца нерухомай. Узаемадзеяння няма. Не будзе ўзаемадзеяння, калі да стрэлкі паднесці адмоўна зараджаную эбанітавую палачку. Ці можна на падставе гэтых доследаў гаварыць аб адсутнасці ўсякай сувязі паміж магнетызмам і электрычнасцю? Зразумела, не. Паміж магнетызмам і электрычнасцю існуе самая цесная сувязь, што можна пацвердзіць простым доследам.

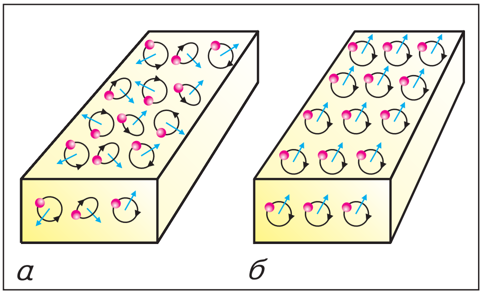


Мал. 196

Размесцім па магнітным мерыдыяне (г. зн. па напрамку стрэлкі компаса) праваднік *AB* (мал. 197, *а*), пад якім знаходзіцца магнітная стрэлка. Уключым ток. Стрэлка паварочваецца і ўстанаўліваецца перпендыкулярна да правадніка *AB* (мал. 197, *б*). Паварот стрэлкі паказвае на **з'яўленне магнітнага поля вакол правадніка з токам**. Зменім напрамак току ў праваднiку *AB* на процілеглы. Стрэлка паварочваецца і ўстанаўліваецца перпендыкулярна да правадніка, але ў процілеглым напрамку.



Мал. 197



Мал. 198

Гэты просты дослед, праведзены ў 1820 г. дацкім вучоным Г. Х. Эрстэдам, дазваляе зрабіць надзвычай важны вывад. Магнітнае поле ствараецца не толькі пастаянным магнітам. Яно ўзнікае і пры **руху электрычных зарадаў**. Сапраўды, ток у праваднiку ёсць накіраваны рух электрычных зарадаў.

Велізарны ўклад у вывучэнне электрамагнетызму зрабіў французскі вучоны Андрэ Мары Ампер. Ён выказаў думку аб тым, што рухам зараджаных часціц тлумачыцца магнетызм усіх пастаянных магнітаў, уключаючы Зямлю. Згодна з гіпотэзай Ампера, у целах з жалеза, сталі і інш. пастаянна праходзіць мноства замкнутых кругавых токаў. Кожны такі ток стварае слабае магнітнае поле, г. зн. у целе заўсёды ёсць мноства надзвычай малых элементарных магнітаў. У ненамагнічаным целе элементарныя магніты размешчаны хаатычна (мал. 198, *а*), і іх палі кампенсуюць адзін аднаго. Сумарнае магнітнае поле ў такім целе адсутнічае. Пры намагнічванні цела элементарныя магніты арыентуюцца ў адным напрамку (мал. 198, *б*), цела робіцца пастаянным магнітам. Падобныя кругавыя токі праходзяць, на думку Ампера, і ўнутры Зямлі.

Ампер не змог растлумачыць прыроду ўведзеных ім кругавых токаў. Бо ў той час (першая палова XIX ст.) вучоныя не ведалі будовы атама. Кругавым токам, які стварае элементарнае магнітнае поле, можна лічыць кожны электрон, што рухаецца вакол ядра атама. Несумненная заслуга Ампера ў тым, што ён першым звязаў магнітныя палі пастаянных магнітаў і Зямлі з **рухам электрычных зарадаў** у гэтых целах. Для стварэння магнітнага поля важны не сам праваднік (яго абалонка і рэчыва), а ток, які праходзіць у ім. Так, ужо вельмі даўно было заўважана, што ў выніку навальнічных разрадаў часта намагнічваліся стальныя целы: нажніцы, спіцы, косы і г. д. Прапануем вам самастойна растлумачыць гэту з'яву.

Наступнае вывучэнне ўзаемасувязі электрычных і магнітных з'яў прывяло да адкрыцця **электрамагнітных хваль**. Тэарэтычна прадказаныя яшчэ ў XIX ст. англійскім фізікам Д. К. Максвелам, яны былі ўпершыню ў свеце выкарыстаны для радыёсувязі рускім вучоным А. С. Паповым у 1906 г. Тым самым пачалася новая эпоха ў тэхніцы сувязі.

Галоўныя вывады

1. Нерухомыя электрычныя зарады не выконваюць магнітнага дзеяння.

2. Магнітнае поле ствараецца зарадамі, якія рухаюцца (электрычным токам).

3. Магнетызм усіх пастаянных магнітаў таксама звязаны з рухам электрычных зарадаў.

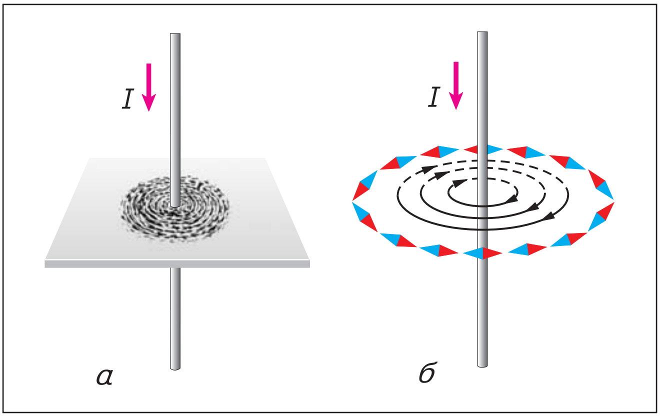
Кантрольныя пытанні

1. Як узаемадзейнічае стрэлка компаса з наэлектрызаванымі эбанітавай і шкляной палачкамі? Якія вывады можна з гэтага зрабіць?
2. Што азначае словазлучэнне «магнітнае дзеянне току»?
3. Чым, згодна з гіпотэзай Ампера, адрозніваюцца намагнічанае і размагнічанае целы?
4. Як узаемадзейнічае стрэлка компаса з наэлектрызаваным жалезным целам (цвіком)?

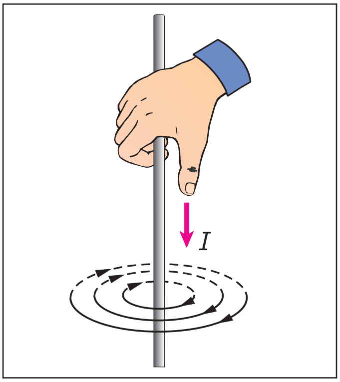
§ 34. Магнітныя палі прамога праваднікa і шпулі з токам. Электрамагніт

Магнітнае поле існуе вакол любога праваднікa з токам. Але праваднікі з токам могуць мець розныя формы, і ток у іх можа мець розную сілу. Чым жа адрозніваюцца палі такіх праваднікоў? Як можна ўзмацніць ствараемае токам магнітнае поле?

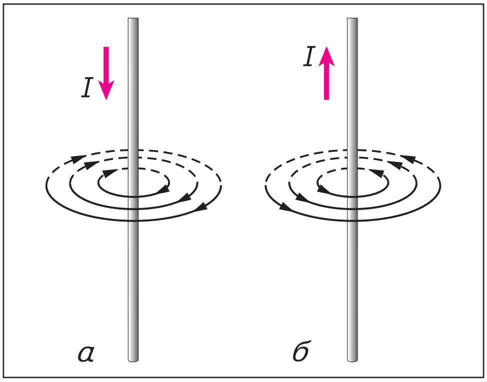
Для вывучэння поля **прамога праваднікa** з токам насыплем жалезныя апілкі на кардонны экран, перпендыкулярны да праваднікa (мал. 199, *а*). Мы бачым, што апілкі размяшчаюцца па акружнасцях, цэнтрам якіх з'яўляецца сам праваднік з токам. Размяшчаючы каля праваднікa магнітныя стрэлкі (мал. 199, *б*), мож-



Мал. 199



Мал. 200



Мал. 201

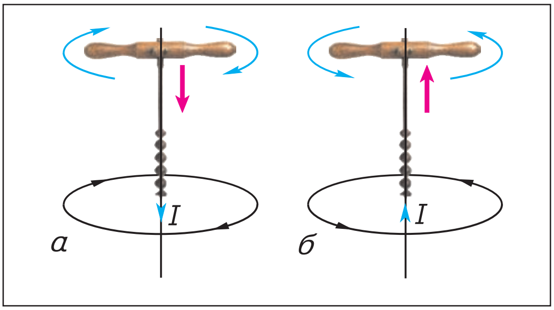
на вызначыць напрамак ліній магнітнага поля. Не забывайце, у кожным пункце поля гэта напрамак паўночнага (*N*) полюса магнітнай стрэлкі!

Але напрамак ліній магнітнага поля можна вызначыць і інакш, з дапамогай **правіла правай рукі: калі абхапіць праваднік з токам далонню правай рукі так, каб адстаўлены вялікі палец быў сунакіраваны з токам** (мал. 200), **то сагнутыя чатыры пальцы пакажуць напрамак ліній магнітнага поля.**

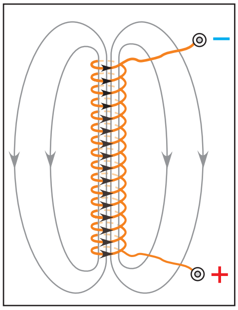
На малюнку 201, *а*, *б* паказаны напрамак магнітнага поля двух праваднікоў, па якіх праходзіць ток у процілеглых напрамках. Пацвердзіце правільнасць паказаных напрамкаў, выкарыстаўшы правіла правай рукі.

У фізіцы для вызначэння напрамку ліній магнітнага поля выкарыстоўваюць *правіла свярдзёлка*, або *правай шрубы*: вярціце ручку свярдзёлка (галоўку звычайнай шрубы з правай нарэзкай) так, каб яго вастрыё рухалася па напрамку току ў правадніку: уніз на малюнку 202, *а* і ўверх на малюнку 202, *б*. Напрамак ліній поля пакажа напрамак вярчэння ручкі свярдзёлка.

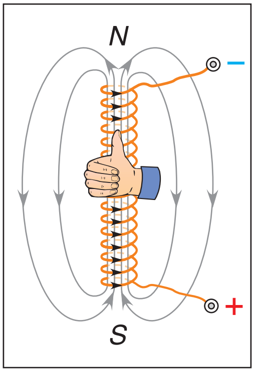
Прымяняючы жалезныя апілкі, можна атрымаць і карціну ліній магнітнага поля (мал. 203) шпулі з токам — *саленоіда* (так называюць такую шпулю ў тэхніцы).



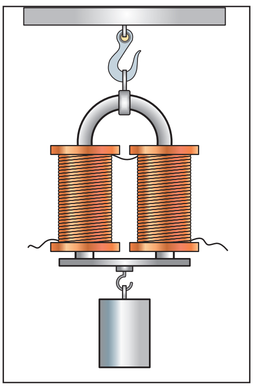
Мал. 202



Мал. 203



Мал. 204



Мал. 205

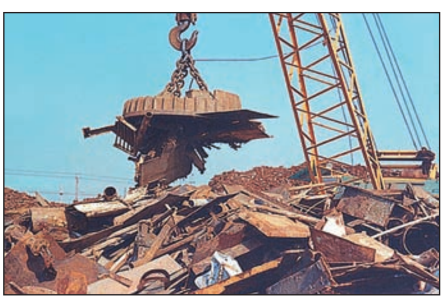
З малюнка 203 відаць, што створанае шпуляй з токам магнітнае поле падобна да поля звычайнага паласавога магніта. Размяшчаючыся паралельна ўнутры шпулі, лініі выходзяць з аднаго яе канца і, абгінаючы яе, уваходзяць у другі канец, г. зн., па сутнасці, саленоід з'яўляецца **электрамагнітам**. Для вызначэння напрамку ліній магнітнага поля тут таксама выкарыстоўваецца правіла правай рукі, але толькі для саленоіда (мал. 204). **Калі далонню правай рукі абхапіць шпулю з токам так, каб чатыры пальцы размясціліся па напрамку току, то адстаўлены вялікі палец пакажа напрамак ліній магнітнага поля ўнутры шпулі.**

Для стварэння электрамагнітаў з вялікай пад'ёмнай сілай аднайменныя полюсы магнітаў збліжаюцца, а ўнутр шпулі ўстаўляецца стрыжань з мяккага жалеза або спецыяльнай сталі (мал. 205). Гэтыя матэрыялы, намагнічваючыся ў магнітным полі шпулі, у дзясяткі і нават сотні разоў узмацняюць яго, дазваляючы атрымаць электрамагніты з вялікай пад'ёмнай сілай.

Электрамагніт, паказаны на малюнку 205, можа ўтрымаць груз масай у дзясяткі кілаграмаў нават пры невялікай сіле току ў шпулях, што недаступна ніякаму пастаяннаму магніту.

На вытворчасці прымяняюць электрамагніты, здольныя ўтрымліваць і пераносіць тоны металічнага грузу (мал. 206).

Стварaемае саленоідам магнітнае поле выкарыстоўваецца ў электравымяральных прыборах (амперметрах, вальтметрах), электразванку, электрагітары. Па дзве шпулі з токам маюць **электралічыльнік** (мал. 207) і **ватметр** —

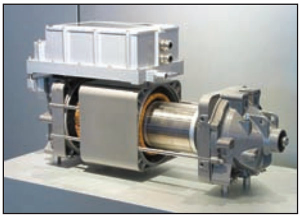


Мал. 206



Мал. 207

прыбор, які вымярае магутнасць электрычнага току. Ток, які праходзіць па абмотках складанай канфігурацыі, стварае магнітнае поле, неабходнае для работы любога **электрарухавіка** (электраматора) (мал. 208).



Мал. 208

Галоўныя вывады

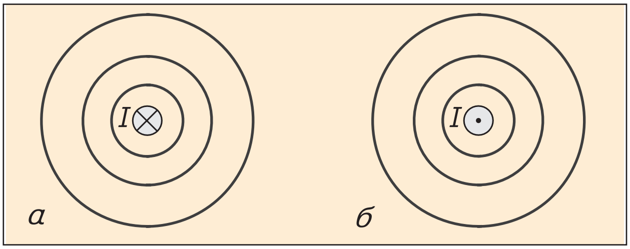
1. Лініі магнітнага поля не маюць пачатку і канца. Яны замкнутыя.
2. Напрамак ліній магнітнага поля можна вызначыць з дапамогай стрэлкі компаса па правіле правай рукі або іншых правілах.
3. Магнітнае поле шпулі з токам падобна да поля паласавога магніта.
4. Поле электрамагніта можна ўзмацніць выкарыстаннем жалезнага або стальнога стрыжня і зблiжэннем аднайменных полюсаў.

Кантрольныя пытанні

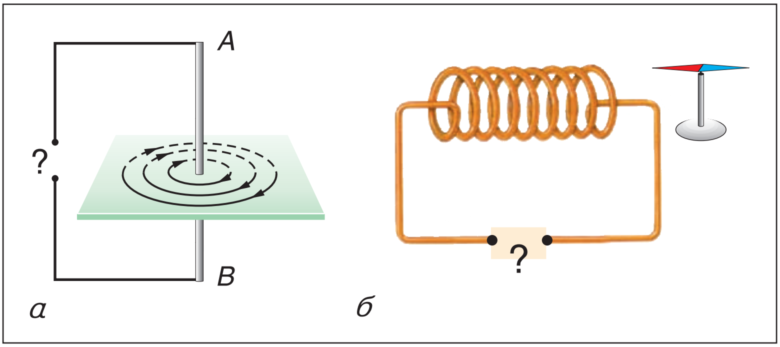
1. Якімі спосабамі можна атрымаць карціну ліній магнітнага поля розных праваднікоў?
2. Як можна вызначыць напрамак ліній магнітнага поля, якое ствараецца праваднiком з токам?
3. Як фармулюецца правіла правай рукі для поля, якое ствараецца: а) прамым праваднiком; б) шпуляй з токам?
4. Як можна ўзмацніць магнітнае поле электрамагніта?
5. Дзе прымяняюцца шпулі з токам?
6. Ці можна назваць электрамагнітам прамы праваднік з токам? Чаму?

Практыкаванне 22

1. Вызначце напрамак ліній магнітнага поля прамога правадніка з токам I, размешчанага перпендыкулярна да плоскасці чарцяжа, калі ток I накіраваны ад нас (мал. 209, *а*) і да нас (мал. 209, *б*).



Мал. 209



Мал. 210

2. Як, выкарыстоўваючы компас, вызначыць палярнасць клем невядомай крыніцы току?

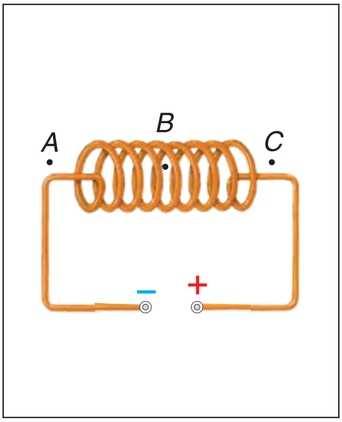
3. Вызначце палярнасць клем крыніцы, якая стварае ток у прамым праваднiку (мал. 210, *а*) і ў шпулі (мал. 210, *б*).

4. Як будзе зарыентавана магнітная стрэлка (мал. 211), змешчаная ў пункты *A*, *C* і *B*?

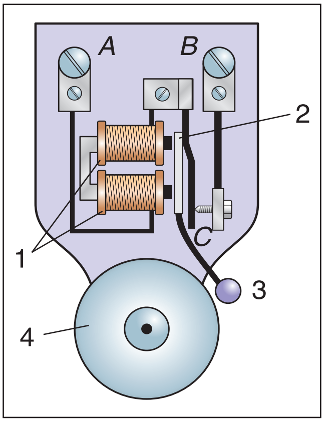
5. На малюнку 212 паказана ўстройства найпрасцейшага электразванка. Пры замыканні ланцуга электрамагніт *1* прыцягвае стальную пласціну (якар) *2*. Звязаны з якарам малаточак *3* ударае па чашцы *4*. Адначасова адбываецца разрыў ланцуга ў пункце *C*. Апішыце наступныя стадыі работы такога званка.

6. Як вырабіць шпулю, якая не стварае магнітнага поля нават пры значнай сіле току ў ёй?

7. Ці будзе працаваць электрамагніт, калі па провадзе шпулі праходзіць пераменны ток?



Мал. 211



Мал. 212



3 Светлавыя з'явы

Ці можа чалавек апярэдзіць свой цень?

Чаму відарыс у люстры называюць «аптычным прывідам»?

Ці дасць збіраючая лінза відарыс прадмета, калі палавіну яе закрыць чорнай паперай?





Мал. 213

Хто з нас не зведваў захаплення ад навагодняй ёлкі, якая ззяе рознакаляровымі агнямі (мал. 213)? А ад цуду прыроды — паўночнага ззяння (гл. мал. 194)?

Святло зачароўвае чалавека, дае магчымасць яму лепш зразумець навакольнае асяроддзе. Аднак ролю святла ў жыцці чалавека нельга зводзіць толькі да атрымання інфармацыі аб з'явах прыроды.

Святло само выклікае розныя з'явы: хімічную рэакцыю (на гэтым заснавана фатаграфія, а таксама фотасінтэз у лістах раслін), электрычны ток (сонечныя батарэі, якія асабліва важныя для касмічных палётаў) і г. д. Без святла немагчыма само жыццё на Зямлі.

Што ж такое святло? Пытанне аб прыродзе святла з'яўляецца адным са складаных пытанняў. Раздзел фізікі, які вывучае ўласцівасці святла, называецца **оптыкай**.

§ 35. Крыніцы святла

Старажытныя грэкі лічылі святло асаблівым рэчывам, якое выцякае з вачэй. Згодна з гэтым уяўленнем, чалавек бачыць целы, прашчупваючы іх накіраваным патокам гэтага рэчыва. Але тады чаму ноччу чалавек не можа бачыць? Адказаць на гэта пытанне было немагчыма. Пазней І. Ньютанам была прапанавана гіпотэза: святло — гэта паток часціц (карпускул), якія выпраменьваюцца целам, што свеціцца. Карпускулярная тэорыя тлумачыла магчымасць бачыць прадмет пападаннем у вока часціц, якія выпраменьваюцца прадметам. Гэта тэорыя добра тлумачыла ўтварэнне ценю за непразрыстым целам. Аднак і яна не магла растлумачыць многія з'явы (аб іх вы даведаецеся ў старшых класах).

Усе целы, якія выпраменьваюць святло, называюцца **крыніцамі святла**: гэта Сонца і іншыя зоркі, запаленыя свечкі (мал. 214) і электралямпачкі, вогнішчы (мал. 215).



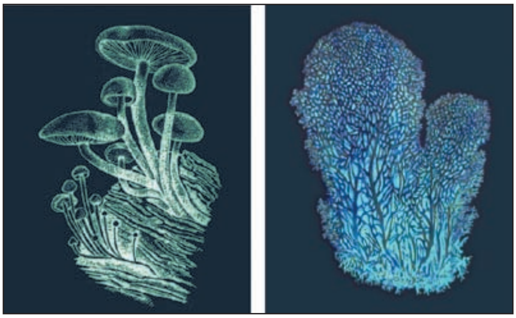
Мал. 214



Мал. 215



Мал. 216



Мал. 217

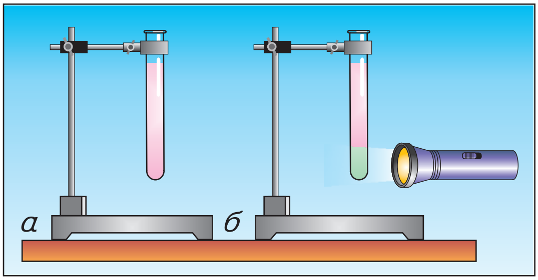
Крыніцамі святла з'яўляюцца розныя арганізмы, якія свецяцца: рачкі, рыбы (мал. 216), жукі, грыбы (мал. 217). Іх называюць крыніцамі **халоднага** свячэння, у адрозненне ад цел, якія з'яўляюцца цеплавымі крыніцамі святла.

Існуе многа рэчываў, якія становяцца крыніцамі святла толькі пасля таго, як на іх папала святло. Такія рэчывы называюцца **фоталюмінафорамі**, а іх свячэнне — **фоталюмінесцэнцыяй**.

Разгледзім такі дослед. Растворым у вадзе крыху флуарэсцэіну (мал. 218, *а*) і прапусцім праз раствор пучок белага святла. Раствор пачне свяціцца зялёным святлом (мал. 218, *б*).

Уласцівасць рэчываў свяціцца пры іх апраменьванні выкарыстоўваецца ў рэкламе (мал. 219). У навагоднюю ноч вы назіралі, як свецяцца ёлачныя цацкі, пакрытыя такімі рэчывамі. Дарожныя знакі (мал. 220), у фарбу якіх дабаўлена рэчыва люмінафор, флікер на вашым адзенні свецяцца пры апраменьванні святлом і добра відаць вадзіцелю, што робіць рух усіх удзельнікаў на дарозе бяспечным.

Унікальнай крыніцай святла з'яўляецца лазер, які знайшоў эфектыўнае практычнае прымяненне ў тэлебачанні, сувязі, медыцыне (мал. 221), машына- і прыборабудаванні, метралогіі. Менавіта лазер дазволіў адказаць на пытанне: «Коль-



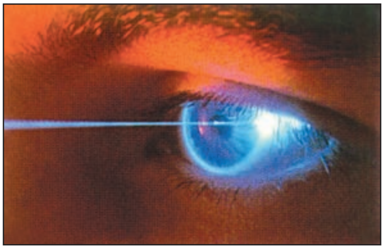
Мал. 218



Мал. 219



Мал. 220



Мал. 221



Мал. 222

кі сантыметраў (заўважце, не кіламетраў, а сантыметраў) ад Зямлі да Месяца?», а лазерны гадзіннік дае памылку ў 1 с за 3 млн гадоў.

Вялікі ўклад у развіццё лазераў зрабіў беларускі вучоны Б. І. Сцяпанаў.

Большасць бачных намі цел самі не выпраменьваюць, а адбіваюць святло, якое падае на іх. Такімі целамі з'яўляюцца Месяц (мал. 222), дрэвы, будынкі, людзі і г. д.

Адзначым, што ва ўсіх крыніцах святла ў светлавую энергію ператвараецца які-небудзь від энергіі: цеплавая, хімічная, электрычная, светлавая (успомніце свячэнне раствору флуарэсцэіну) і г. д.

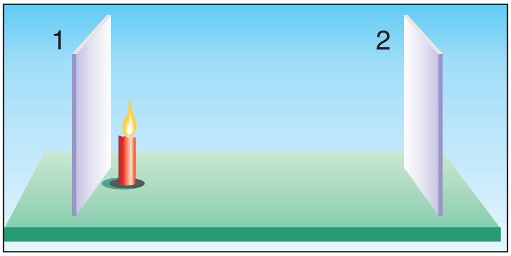
Крыніцы выпраменьвання могуць даваць і нябачныя прамені. Усе вы, зразумела ж, чулі аб ультрафіялетавых праменях. Нябачнымі праменямі пераносіцца энергія ад цела да цела пры цеплаперадачы выпраменьваннем (§ 6). Аднак у гэтым падручніку мы будзем разглядаць толькі бачнае выпраменьванне крыніц святла. Інакш кажучы, такое святло, якое, пападаючы ў вока, выклікае зрокавыя адчуванні. Гэта белае святло і ўсе колеры вясёлкі ад чырвонага да фіялетавага (мал. 223).

Калі памеры крыніцы святла ў дадзеных умовах можна не прымаць да ўвагі, то яе называюць *пунктавай*. Пунктавымі крыніцамі святла для нас, напрыклад, з'яўляюцца зоркі, лямпы вулічнага асвятлення і інш.

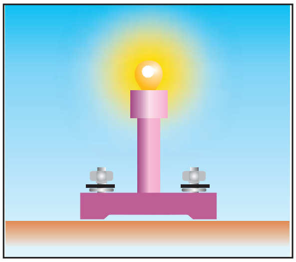
Паглядзіце на малюнак 224. Полымя свечкі ў адносінах да экрана *2* можна лічыць пунктавай крыніцай святла, але яе нельга прыняць пунктавай у адносінах да экрана *1*. Растлумачце самі прычыну гэтага.



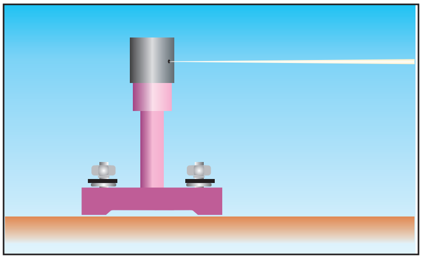
Мал. 223



Мал. 224



Мал. 225



Мал. 226

У далейшым пунктавую крыніцу святла мы будзем абазначаць літарай S.

Любая крыніца выпраменьвае святло па ўсіх напрамках (мал. 225). Надзенем на электрычную лямпачку, што гарыць, каўпак, які мае маленькую адтуліну (мал. 226). З адтуліны выходзіць вузкі пучок святла. **Лінія, уздоўж якой распаўсюджваецца святло, называецца светлавым праменем.** Чым меншая адтуліна, тым у большай ступені пучок святла можна мадэліраваць праменем.

Галоўныя вывады

1. Крыніцы святла — гэта целы, якія выпраменьваюць святло.

2. Крыніца святла называецца пунктавай, калі яе памеры ва ўмовах дадзенай задачы можна не прымаць пад увагу.

3. Большасць цел вакол нас мы бачым дзякуючы адбітаму святлу.

4. Прамень святла — гэта лінія, уздоўж якой распаўсюджваецца святло.

Кантрольныя пытанні

1. Што такое крыніца святла?
2. Якія крыніцы святла называюць цеплавымі? Прывядзіце прыклады.
3. Калі крыніцу святла можна лічыць пунктавай? Прывядзіце прыклады.
4. Які від энергіі ператвараецца ў светлавую ў крыніцах святла: лямпачцы ліхтарыка, гнілушках, што свецяцца?
5. Што такое прамень святла?
6. Якую ролю адыгрывалі гнілушкі, якімі партызаны ў час вайны пасыпалі свае сцежкі?

§ 36. Скорасць святла. Прамалінейнасць распаўсюджвання святла

Вымераць скорасць святла вучоныя спрабавалі даўно. Напрыклад, Галілей правадзіў такі дослед. На вяршыні аднаго з узгоркаў (мал. 227) знаходзіўся з ліхтаром адзін яго асістэнт, на вяршыні другога — ён сам. Асістэнт павінен быў зняць накрыўку са свайго запаленага ліхтара ў той момант, калі ўбачыць успышку святла ліхтара Галілея. Вымераўшы прамежак часу паміж успышкай свайго ліхтара і момантам, калі ён убачыў успышку святла ліхтара асістэнта, і ведаючы адлегласць паміж узгоркамі, Галілей спрабаваў вызначыць скорасць святла. Аднак вымяраемы прамежак часу быў такі малы, што Галілей разглядаў яго толькі як час рэакцыі чалавека. Скорасць жа святла ён лічыў бясконца вялікай.

Як паказалі больш познія вымярэнні, **скорасць святла мае канечную велічыню**. Упершыню яе значэнне ўдалося вызначыць у 1676 г. дацкаму астраному О. Ромеру. Назіраючы за рухам аднаго са спадарожнікаў Юпітэра (Іо), Ромер выявіў розніцу паміж разлічаным і назіраемым часам зацьмення. Па даных назіранняў ён атрымаў значэнне скорасці святла, роўнае 215 000 $\frac{км}{с}$.

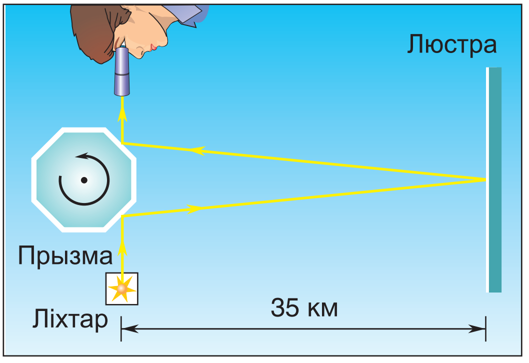
Пасля Ромера скорасць святла вымяралі неаднаразова ўсё больш дакладнымі метадамі.

Найбольш важныя рэзультаты былі атрыманы ў доследах амерыканскага вучонага А. Майкельсана.

У сваёй устаноўцы (яе схема паказана на малюнку 228) ён выкарыстаў ідэю Галілея (праходжанне святла туды і назад паміж двума ўзгоркамі). Прымяніўшы арыгінальны спосаб вымярэння малых адрэзкаў часу, Майкельсан атрымаў значэнне скорасці святла, роўнае 299 700 $\frac{км}{с}$.



Мал. 227



Мал. 228

Прынятае ў цяперашні час значэнне скорасці святла ў вакууме (пустаце) роўна

$$c = 299\,792\,458\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Калі не патрабуецца асаблівая дакладнасць, то значэнне скорасці акругляецца да

$$c = 300\,000\,000\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорасць святла ў паветры адрозніваецца ад гэтага значэння толькі нязначна. У іншых асяроддзях скорасць святла меншая, чым у паветры, напрыклад:

у вадзе $v_{\text{в}} \approx 2{,}25 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; у шкіпінары $v_{\text{шкіп}} \approx 2{,}04 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

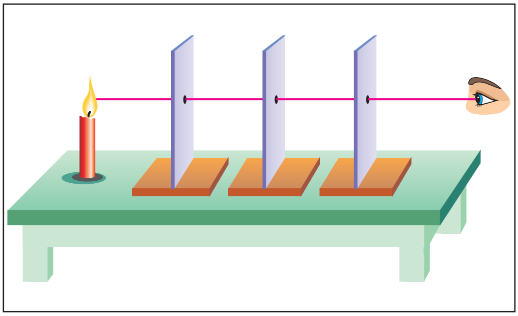
у шкле $v_{\text{шкл}} \approx 2{,}00 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; у алмазе $v_{\text{ал}} \approx 1{,}25 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

У колькі разоў скорасць святла ў дадзеным асяроддзі большая, у столькі разоў гэта асяроддзе лічыцца аптычна менш шчыльным, чым іншае.

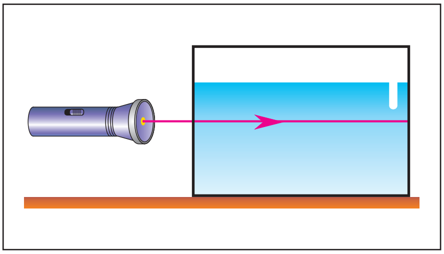
Не блытайце аптычную шчыльнасць са шчыльнасцю рэчыва $\left(\rho = \frac{m}{V}\right)$. Ёсць рэчывы, у якіх шчыльнасць меншая, чым шчыльнасць вады $\left(\rho_{\text{в}} = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, напрыклад шкіпінар, шчыльнасць якога $\rho_{\text{шкіп}} = 855\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. У той жа час шкіпінар аптычна больш шчыльны, чым вада. Скорасць святла ў шкіпінары меншая, чым у вадзе.

А як распаўсюджваецца святло? Правядзём такі дослед. Паставім на стале тры экраны з адтулінамі (мал. 229). Запалім свечку або электрычную лямпачку і паспрабуем, перамяшчаючы экраны, убачыць святло праз адтуліны ў іх. Затым возьмем тонкі прамы стрыжань і ўставім яго ў адтуліны. Мы ўбачым, што стрыжань праходзіць праз усе адтуліны. Значыць, яны размешчаны на адной прамой. А цяпер зрушым адзін экран. Святло ў вочы больш не пападае. Гэта сведчыць аб тым, што святло распаўсюджваецца прамалінейна.

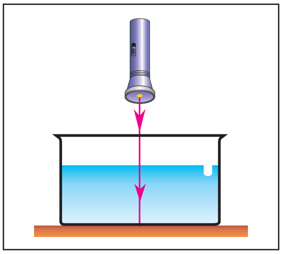
У доследзе асяроддзем, у якім распаўсюджвалася святло, было паветра. А калі ўзяць іншае асяроддзе, напрыклад ваду, то як будзе ў ёй распаўсюджвацца святло? Правядзём дослед. У шкляную пасудзіну нальём вады і дабавім крыху малака. Ліхтар, ад якога ідзе пучок святла, паднясём да сценкі пасудзіны (мал. 230). Мы ўбачым у вадзе прамую лінію, якая свеціцца. Значыць, і ў вадзе святло распаўсюджваецца прамалінейна. І паветра, і вада маюць па ўсім аб'ёме аднолькавыя фізічныя ўласцівасці, таму з'яўляюцца *аднароднымі асяроддзямі*.



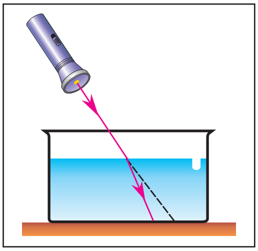
Мал. 229



Мал. 230



Мал. 231

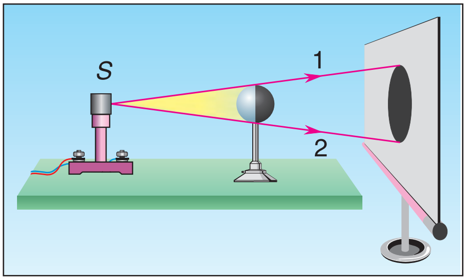


Мал. 232

Цяпер можна сфармуляваць закон: **у аднародным асяроддзі святло распаўсюджваецца прамалінейна**.

А калі асяроддзе неаднароднае (складаецца з некалькіх розных аднародных асяроддзяў)? Тады гэты закон выконваецца толькі ў выпадку, калі светлавы прамень падае перпендыкулярна да паверхні асяроддзя (мал. 231). Ва ўсіх іншых выпадках пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое святло змяняе свой напрамак (мал. 232).

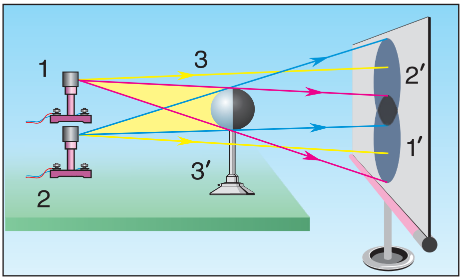
Прамалінейнасцю распаўсюджвання святла тлумачацца многія з'явы, напрыклад утварэнне ценю і паўценю. Возьмем маленькую электрычную лямпачку, шарык і экран. Размесцім іх на стале, як паказана на малюнку 233. У вобласць усечанага конуса паміж праменямі *1* і *2* святло не пападае. На экране мы бачым выразна акрэслены цень.



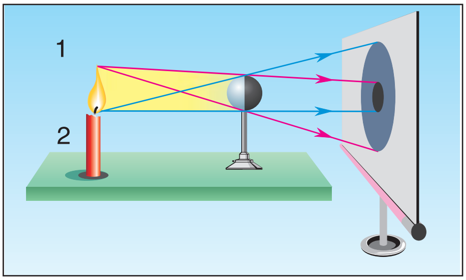
Мал. 233

А цяпер асвятлім шарык дзвюма лямпачкамі (мал. 234). На экране мы ўбачым цень, г. зн. вобласць, куды не пападае святло ні ад лямпачкі *1*, ні ад лямпачкі *2*, і паўцень (вобласці *1′* і *2′*). У вобласці *1′* і *2′* пападае святло толькі ад адной лямпачкі.

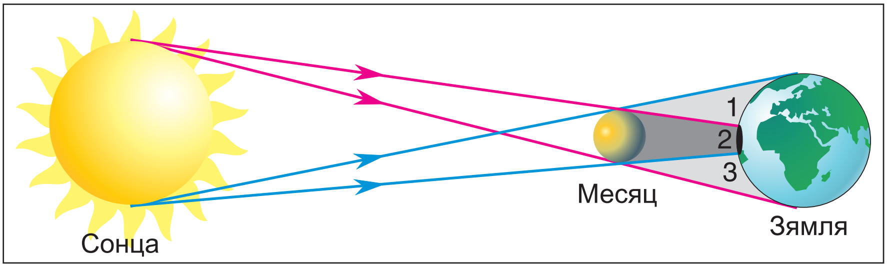
Цень і паўцень можна атрымаць ад адной крыніцы, калі яна не з'яўляецца пунктавай (мал. 235).



Мал. 234



Мал. 235



Мал. 236

Утварэннем ценю і паўценю можна растлумачыць сонечныя (мал. 236) і месячныя зацьменні. Калі Месяц апынецца паміж Зямлёй і Сонцам, то на паверхню Зямлі ў вобласць *2* сонечныя прамені пападаць не будуць, і жыхары гэтай мясцовасці будуць сведкамі поўнага сонечнага зацьмення. У вобласці *1* і *3* святло будзе пападаць часткова, гэта вобласці паўценю. Жыхары гэтых месцаў будуць бачыць тую частку Сонца, ад якой у дадзеную вобласць пападае святло.

Нарысуйце ў сшытку схему, якая тлумачыць месячнае зацьменне. Вы не забыліся, што Месяц бачны толькі таму, што адбівае сонечнае святло, што на яго падае, а сам святло не выпраменьвае?

Поўнае сонечнае зацьменне дае магчымасць назіраць верхнія слаі сонечнай атмасферы і вывучаць яе склад.

Галоўныя вывады

1. Скорасць распаўсюджвання святла ў вакууме прыкладна роўна 300 000 $\frac{\text{км}}{\text{с}}$.

2. Скорасць святла ў вадкіх і цвёрдых асяроддзях меншая за скорасць святла ў паветры.

3. Чым меншая скорасць святла ў асяроддзі, тым асяроддзе аптычна больш шчыльнае.

4. У аднародных празрыстых асяроддзях святло распаўсюджваецца прамалінейна.

Кантрольныя пытанні

1. Чаму так доўга не маглі вымераць скорасць распаўсюджвання святла?
2. Чаму роўна максімальнае значэнне скорасці святла?
3. У чым сутнасць закона прамалінейнага распаўсюджвання святла?
4. Як растлумачыць утварэнне ценю і паўценю?



5. Ці можна асяроддзе, што ўяўляе сабой дзве складзеныя разам празрыстыя пласцінкі з розных рэчываў, аптычныя шчыльнасці якіх роўныя, лічыць для святла аднародным? Ці будзе выконвацца ў гэтым асяроддзі закон прамалінейнага распаўсюджвання святла?

Практыкаванне 23

1. Ці можна, маючы крыніцу святла, экран і непразрысты прадмет, атрымаць: а) толькі цень; б) цень і паўцень; в) толькі паўцень? Як гэта зрабіць?

2. Якое з асяроддзяў аптычна больш шчыльнае: паветра, вада або шкіпінар? А ў якіх суадносінах знаходзяцца шчыльнасці $\left(\rho = \frac{m}{V}\right)$ гэтых рэчываў?

3. Скорасць святла ў лёдзе $v = 229\,000\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$. У колькі разоў лёд аптычна больш шчыльны, чым паветра?

4. Колькі часу ідзе святло ад Сонца да Зямлі, калі адлегласць паміж імі $l = 1{,}49 \cdot 10^8$ км?

5. Святло ад найбліжэйшай да Зямлі зоркі ідзе $t = 4{,}24$ года. Вызначце адлегласць да гэтай зоркі. Астраном бы сцвярджаў, што адлегласць да зоркі роўна прыкладна $l = 1{,}3$ парсека. Чаму роўна (у метрах) адлегласць $l_0 = 1{,}0$ парсека?



Мал. 237

6. Чаму астраномы гавораць: «Мы вывучаем мінулае зорак»?

7. На якой вышыні над паверхняй вады ў басейне глыбінёй h трэба павесіць лямпачку, каб святло ад яе ішло ў паветры і ў вадзе аднолькавы час?

8. Чаму рукі хірурга, якія асвятляюцца зверху свяцільнікамі (мал. 237), не даюць на «аперацыйным полі» ценю, які мог бы перашкаджаць правядзенню аперацыі?

9. Прапануйце і растлумачце спосаб устаноўкі па адной прамой лініі калкоў для плота без выкарыстання вымяральных прыбораў.

10. Ад хлопчыка ростам $h = 1{,}5$ м, які стаіць паблізу ліхтара, утвараецца цень даўжынёй $l_1 = 1{,}2$ м. Калі хлопчык пяройдзе на адлегласць $L = 1{,}5$ м далей ад ліхтара, то даўжыня ценю стане $l_2 = 1{,}8$ м. На якой вышыні вісіць ліхтар?

11. Ці можа чалавек абагнаць свой цень?

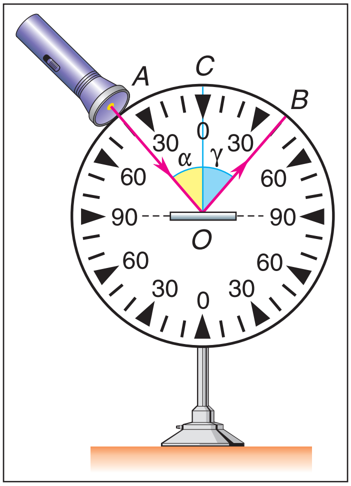
§ 37. Адбіццё святла

Ці можам мы ўбачыць адзін аднаго цёмнай ноччу? А калі мы наблізімся да ліхтара, што свеціцца? Менавіта дзякуючы адбітаму святлу мы бачым прадметы, адрозніваем колер адзення, захапляемся карцінай мастака. Ці заўсёды аднолькава нам відаць тое, што намалявана на карціне? Чаму мастаку вельмі важна ведаць, пад якім вуглом і як асветлена яго карціна? Таму, што ад гэтага залежыць зрокавае і эмацыянальнае ўспрыманне паказанага на ёй.

Якім бывае адбіццё святла? Якімі законамі яно апісваецца? Правядзём дослед. На аптычным дыску (мал. 238), які ўяўляе сабой круг з дзяленнямі, замацуем люстра.

Накіруем з асвятляльніка (лямпачка ў футляры з адтулінай) на люстра пучок святла (прамень *AO*).

Ад люстра (гладкая адпаліраваная паверхня) светлавы прамень *AO* практычна цалкам адаб'ецца (прамень *OB*). Апусцім у пункт падзення праменя *AO* перпендыкуляр *CO* да паверхні люстра. **Вугал паміж падаючым праменем і перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення, называецца вуглом падзення.** Абазначым гэты вугал літарай α.



Мал. 238

Вугал, які ўтвораны адбітым праменем і тым жа перпендыкулярам, называецца вуглом адбіцця. Абазначым яго літарай γ. А цяпер параўнаем гэтыя вуглы. З доследу відаць, што **вуглы адбіцця** і **падзення роўныя**:

$$\gamma = \alpha.$$

Павялічым вугал падзення α, павярнуўшы асвятляльнік улева. Вугал адбіцця γ таксама павялічыцца (мал. 239, *а*). Але па-ранейшаму: $\gamma = \alpha$.

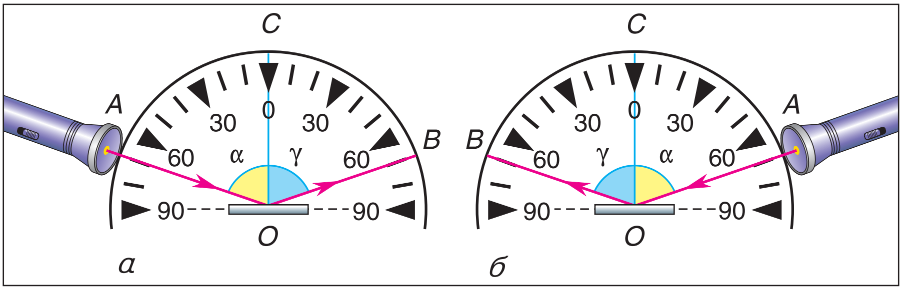
Тое, што мы на аптычным дыску бачым не толькі падаючы прамень, але і адбіты, сведчыць аб тым, што яны абодва ляжаць у адной плоскасці — плоскасці дыска.

На падставе вынікаў доследу можна сфармуляваць законы адбіцця святла.

1. **Прамень падаючы і адбіты, а таксама перпендыкуляр да адбіваючай паверхні, праведзены ў пункт падзення, ляжаць у адной плоскасці.**

2. **Вугал адбіцця роўны вуглу падзення.**

А цяпер у напрамку адбітага праменя (мал. 239, *б*) пусцім прамень святла ад асвятляльніка. Ён адаб'ецца ад люстра і пойдзе па напрамку, па якім у папя-



Мал. 239

рэднім доследзе ішоў падаючы прамень. Прамені быццам бы памяняліся месцамі. Гэту ўласцівасць адбітага і падаючага праменяў называюць *абарачальнасцю* (або ўзаемнасцю) светлавых праменяў.

Ці аднолькава адбіваюць святло розныя паверхні?

Няхай на паверхню люстра падаюць накіраваныя прамені святла. Пасля адбіцця святло пападае ў вока толькі тады, калі вока знаходзіцца ў становішчы *2* (мал. 240, *а*). Калі вока будзе знаходзіцца ў становішчах *1* або *3*, мы не ўбачым люстра, адбітыя прамені ў вока не пападуць.

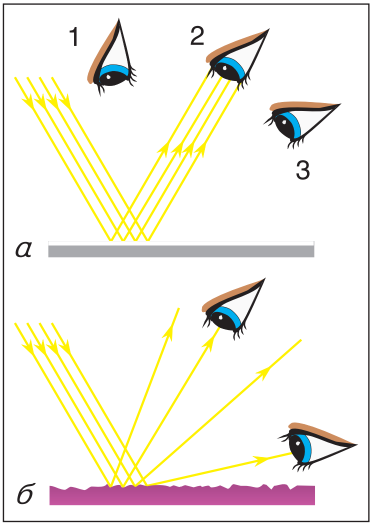
У гэтым асаблівасць люстраў. Люстрана адбівае святло паверхня вады (мал. 241). А калі паверхня шурпатая? Накіраваныя прамені святла адбіваюцца ў розных напрамках (мал. 240, *б*). Такое *адбіццё* называецца *дыфузным* (часам гавораць: *рассеянае* адбіццё).

У выпадку дыфузнага адбіцця паверхня відаць пры любым становішчы вока, паколькі ў яго пападаюць прамені. Шурпатымі паверхнямі, якія дыфузна адбіваюць святло, з'яўляюцца паверхні сцен, столей, тканін, ваты, снегу (мал. 242), скура твару, рук і г. д. Толькі дзякуючы дыфузнаму адбіццю мы бачым прадметы, якія самі не выпраменьваюць святло.

Дыфузна адбіваючыя паверхні з'яўляюцца *матавымі,* люстрана адбіваючыя — *бліскучымі*.

Прывядзіце самі прыклады бліскучых і матавых паверхняў.

Чым больш святла адбівае паверхня (чым менш паглынае), тым яна здаецца больш светлай. Белы ліст паперы адбівае святла больш, чым жаўтаваты кардон, але гэты ж кардон адбівае больш святла, чым чорны аксаміт.



Мал. 240


Мал. 241


Мал. 242

Галоўныя вывады

1. Адбіты прамень ляжыць у той жа плоскасці, што і падаючы прамень, і перпендыкуляр да паверхні, праведзены ў пункт падзення.

2. Вугал адбіцця светлавога праменя роўны вуглу падзення.

3. Люстраныя паверхні адбіваюць святло накіравана, шурпатыя (матавыя) — дыфузна, г. зн. па ўсіх напрамках.

4. Светлавыя прамені маюць уласцівасць абарачальнасці.

Кантрольныя пытанні

1. Які вугал называюць вуглом падзення светлавога праменя? Вуглом адбіцця?
2. Як змяніцца вугал адбіцця, калі вугал падзення паменшыцца?
3. Чаму матавую паверхню можна бачыць з любога становішча, а люстраную — нельга?
4. У чым выражаецца ўласцівасць абарачальнасці падаючага і адбітага праменяў?

Прыклад рашэння задачы

Сонечныя прамені ўтвараюць з гарызонтам вугал $\varphi = 40°$. Як трэба размясціць плоскае люстра, каб адбітыя прамені пайшлі вертыкальна ўверх?

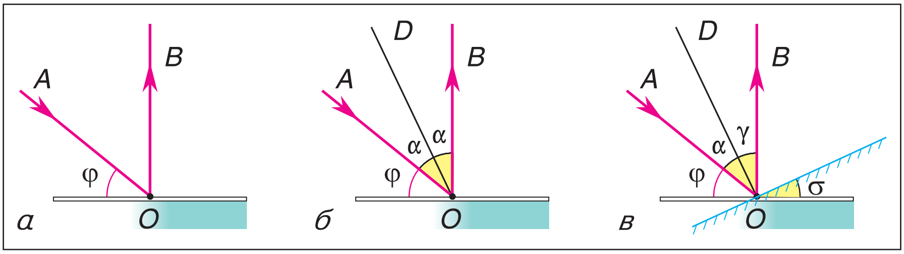
Дадзена:	Рашэнне
$\varphi = 40°$	Правядзём спачатку названы ва ўмове адбіты прамень *OB* (мал. 243, *а*).
σ — ?	

Вугал *AOB*, роўны $90° - \varphi = 90° - 40° = 50°$, — гэта сума двух роўных вуглоў (падзення і адбіцця ад люстра).

$$\alpha + \gamma = 2\alpha = 50°.$$

Правёўшы бісектрысу *OD* гэтага вугла, мы атрымаем становішча перпендыкуляра да люстра (мал. 243, *б*). Правядзём цяпер і само люстра (мал. 243, *в*). З чарцяжа відаць, што шуканы вугал $\sigma = \gamma = \frac{50°}{2} = 25°$.

Адказ: $\sigma = 25°$.



Мал. 243

Практыкаванне 24

1. Пад якім вуглом адбіваецца прамень, які ўпаў перпендыкулярна на люстра? А той, які ўпаў пад вуглом $\alpha = 60°$ да паверхні люстра? Пакажыце гэта на малюнку.

2. Чаму паверхню класнай дошкі робяць матавай?

3. Люстраной ці шурпатай з'яўляецца паверхня Месяца? Як гэта можна даказаць, не выкарыстоўваючы даных касмічных палётаў?

4. Туфлі пачынаюць блішчаць, калі іх змазаць крэмам і пачысціць шчоткай. Якія фізічныя з'явы тут праяўляюцца?

5. Якім будзе вугал адбіцця, калі прамень падаючы і прамень адбіты ўтвараюць вугал $\varphi = 70°$? Пацвердзіце свой адказ чарцяжом.

6. Сонечныя прамені ўтвараюць з гарызонтам вугал $\varphi = 38°$. Як трэба размясціць плоскае люстра, каб асвятліць сонечным святлом дно калодзежа?



7. На які вугал павернецца адбіты прамень, калі, не змяняючы напрамку падаючага праменя, люстра павярнуць на вугал $\varphi = 10°$ адносна восі, перпендыкулярнай падаючаму праменю?

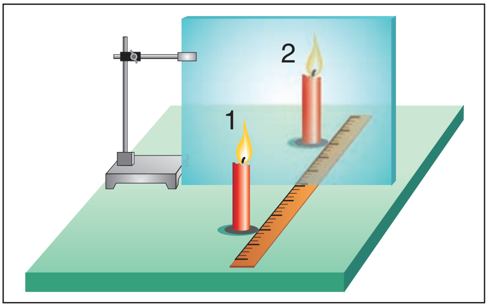
§ 38. Люстры. Відарыс у плоскім люстры

Кожны дзень па некалькі разоў вы глядзіце ў люстра і бачыце ў ім свой відарыс (мал. 244). Паспрабуем адказаць на пытанні. Дзе і на якой адлегласці ад люстра знаходзіцца відарыс? Якія яго памеры ў параўнанні з памерамі самога прадмета? Як ён утвараецца?

Паставім такі дослед. На стале размесцім вертыкальна шкляную пласцінку і запаленую свечку *1*, як паказана на малюнку 245. Шкляная пласцінка будзе выконваць ролю плоскага



Мал. 244



Мал. 245

люстра. У шкле добра відаць відарыс *2* свечкі. Зазірнуўшы за пласцінку, мы не знойдзем там свечкі.

Такую ж па памерах, але незапаленую свечку *2* будзем перамяшчаць з другога боку пласцінкі ўздоўж лінейкі да таго часу, пакуль яна не сумесціцца з відарысам (не будзе здавацца запаленай). Па лінейцы вызначым адлегласць l_1 ад пласцінкі да свечкі *1* і l_2 — да яе відарыса, г. зн. свечкі *2*. Параўнаўшы адлегласці да абедзвюх свечак, мы пераканаемся, што $l_1 = l_2$. Паколькі свечка *2* сумясцілася з відарысам па вышыні, то можна зрабіць вывад, што памеры відарыса роўны памерам прадмета.

Прадоўжым дослед. Перасунем свечку *1* бліжэй да шкляной пласцінкі. Яе відарыс таксама наблізіцца, прычым роўна на столькі ж, у чым лёгка пераканацца з дапамогай лінейкі.

Становішча відарыса не зменіцца, калі замест шкляной пласцінкі выкарыстаць плоскае люстра.

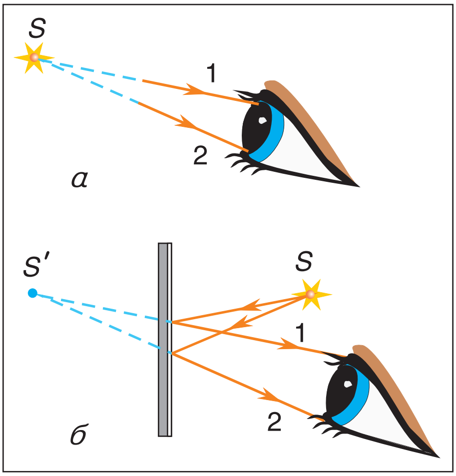
З праведзеных доследаў вынікае, што ў плоскім люстры вока бачыць відарыс такіх жа памераў, што і прадмет, і на такой жа адлегласці за люстрам.

Але што значыць: «Вока бачыць відарыс»? Як вока вызначае месцазнаходжанне прадмета або яго відарыса?

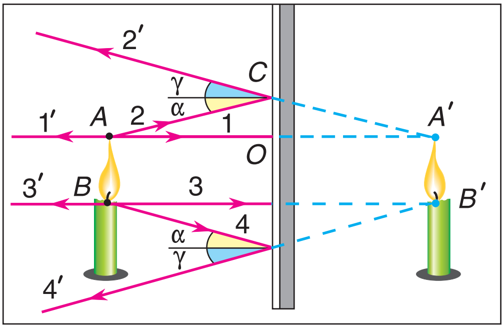
Разгледзім два прамені *1*, *2*, якія пападаюць у вока (мал. 246, *а*). Гэтыя прамені ідуць ад пункта, што свеціцца і знаходзіцца на перасячэнні гэтых двух праменяў, г. зн. у пункце *S*, там, дзе рэальна размешчаны прадмет. А калі гэтыя прамені пападуць у вока не ад самога пункта, што свеціцца, а адбіўшыся ад люстра (мал. 246, *б*)? Воку ўсё роўна, як гэтыя прамені ідуць да таго моманту, пакуль не пападуць у яго. Яно будзе фіксаваць становішча крыніцы праменяў, як і ў папярэднім выпадку, на перасячэнні прадаўжэнняў праменяў, якія пападаюць у яго — у пункце *S′*, г. зн. воку здаецца, што пункт, які свеціцца, знаходзіцца менавіта там. Гэта і ёсць *уяўны* відарыс пункта *S*, што свеціцца, ад якога ў вока пападаюць прамені *1* і *2*.

Значыць, вока бачыць і сам прадмет і яго ўяўны відарыс толькі тады, калі ў яго пападаюць прамені, што ідуць непасрэдна ад прадмета або пасля адбіцця ад люстра і нясуць светлавую энергію. Калі такіх праменяў няма, то і відарыс у воку не ствараецца.

Растлумачым яшчэ раз, чаму відарыс *S′* у плоскім люстры называюць уяўным. Мы можам убачыць гэты відарыс. Але калі



Мал. 246



Мал. 247

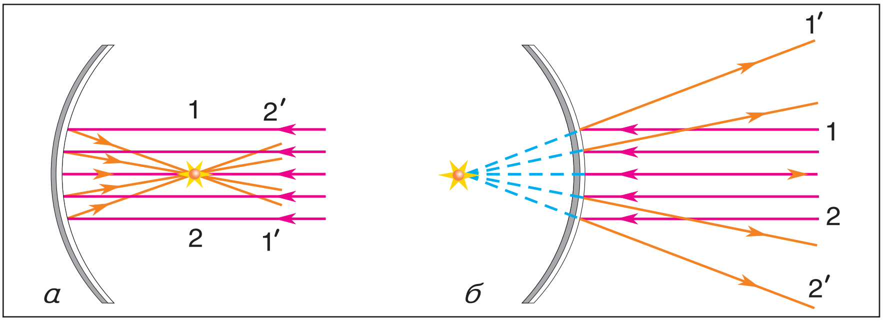
мы змесцім у пункт S' устройства, адчувальнае да светлавой энергіі (фотаплёнку або проста белы экран), то нічога там не выявім. У гэты пункт энергія святла не паступае.

Цяпер пабудуем відарыс прадмета ў плоскім люстры. Калі крыніца святла (свечка) працяглая, пабудуем відарыс двух крайніх пунктаў *A* і *B*. Для гэтага можна выкарыстаць любыя два прамені (мал. 247). Няхай прамень *1* падае на люстра ў пункт *O* перпендыкулярна плоскасці люстра, значыць, вугал падзення $\alpha = 0°$. Адбіты прамень *1′* пойдзе ўздоўж падаючага, але ў адваротным напрамку, паколькі $\gamma = \alpha = 0°$. Прамень *2* падае пад вуглом α і адбіваецца пад такім жа вуглом γ (успомніце законы адбіцця). З малюнка відаць, што адбітыя прамені *1′* і *2′* не перасякаюцца. Перасякаюцца ў пункце A' іх прадаўжэнні. Таму пункт A' і ёсць відарыс пункта *A*, прычым, як вы ўжо здагадаліся, уяўны відарыс. За люстра не пападаюць светлавыя прамені, а значыць, і светлавой энергіі ў пункце A' няма. Аналагічна можна пабудаваць відарыс любога пункта прадмета, у тым ліку і пункта *B*. Няцяжка даказаць (зрабіце гэта самі), што трохвугольнікі *ACO* і $A'CO$ роўныя. Тады $AO = OA'$.

Такім чынам, з доследу і пабудавання вынікае:

відарыс прадмета ў плоскім люстры з'яўляецца ўяўным, прамым, па памерах роўным прадмету і знаходзіцца на такой жа адлегласці за люстрам, на якой размешчаны прадмет перад люстрам.

Важную ролю адыгрываюць люстры, адбіваючыя паверхні якіх з'яўляюцца крывымі: *увагнутымі* (мал. 248, *а*) і *выпуклымі* (мал. 248, *б*). Калі люстра ўвагнутае, яно можа паралельна падаючыя прамені пасля адбіцця сабраць у адным пункце, г. зн. сканцэнтраваць светлавую энергію. Выпуклае люстра, наадварот, пасля адбіцця дае разыходны пучок святла.



Мал. 248



Мал. 249



Мал. 250



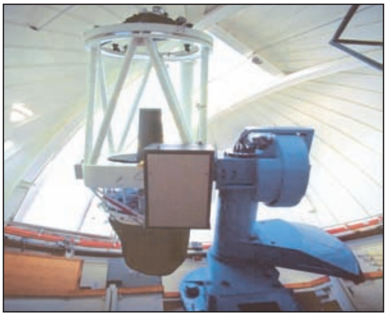
Мал. 251

Люстры прымяняюцца ў розных сферах жыццядзейнасці чалавека: у быце, у медыцыне (мал. 249), на транспарце, для афармлення памяшканняў (мал. 250) і г. д.

Выпуклыя люстры можна бачыць у аўтамабілях (мал. 251), на станцыях метро (мал. 252), на перакрыжаваннях вуліц для агляду наваколля. Яны даюць значна больш шырокі агляд, чым плоскія. Увагнутыя люстры выкарыстоўваюцца там, дзе неабходна сканцэнтраваць светлавую энергію — у люстраным тэлескопе (мал. 253). З яго дапамогай можна назіраць нават далёкія зоркі нязначнай яркасці.



Мал. 252



Мал. 253

Галоўныя вывады

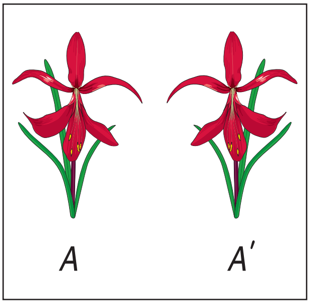
1. Светлавыя прамені, што падаюць на люстра, адбіваюцца і за люстра не пападаюць.

2. Відарысам пункта ў плоскім люстры з'яўляецца пункт перасячэння прадаўжэння праменяў, адбітых ад паверхні люстра.

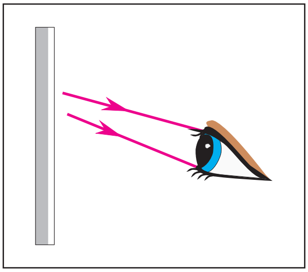
3. Плоскае люстра дае ўяўны, прамы відарыс прадмета, роўных з ім памераў, і на такой жа адлегласці, што і прадмет, ад люстра.

Кантрольныя пытанні

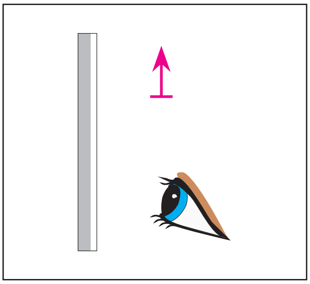
1. Чаму для пабудавання відарыса пункта, што свеціцца, недастаткова аднаго праменя святла, які выходзіць з яго?
2. Чаму відарыс пункта, што свеціцца, у плоскім люстры з'яўляецца ўяўным?
3. Як даказаць, што памеры прадмета і відарыса ў плоскім люстры роўныя?
4. Чаму часам відарыс у плоскім люстры называюць «аптычным прывідам»?
5. Якую ролю ў атрыманні відарыса прадмета ў люстры адыгрывае вока?



Мал. 254



Мал. 255



Мал. 256

Практыкаванне 25

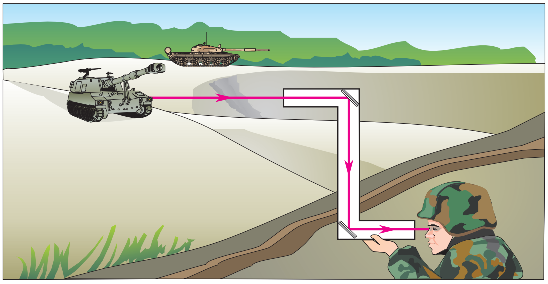
1. Дзе павінна знаходзіцца плоскае люстра, калі кветка A і яе відарыс A' размешчаны, як паказана на малюнку 254?

2. У вока (мал. 255) папалі два прамені святла ад электрычнай лямпачкі. Знайдзіце пабудаваннем станова лямпачкі, лічачы яе пунктавай крыніцай святла.

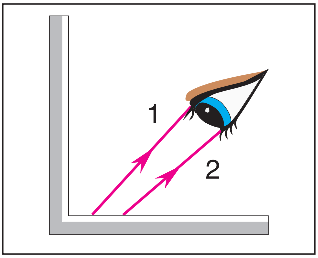
3. Люстра, вока і стрэлка, што свеціцца, размешчаны, як паказана на малюнку 256. Дзе назіральнік убачыць відарыс стрэлкі? Дакажыце гэта пабудаваннем відарыса.

4. Для назірання за падзеямі, якія адбываюцца на паверхні Зямлі, з акопа выкарыстоўваюць такі прыбор, як перыскоп (грэч. periskopéō — гляджу навокал), схема якога паказана на малюнку 257. Растлумачце дзеянне перыскопа. Сканструюйце дома перыскоп і паназірайце, седзячы на падлозе, за тым, што адбываецца за акном.

5. Седзячы ў аўтобусе, вы часам бачыце ў люстры ў кабіне вадзіцеля яго твар. Ці бачыць вадзіцель ваш твар? Адказ абгрунтуйце.



Мал. 257



Мал. 258



Мал. 259

6. У сістэме двух люстраў вока ўбачыла відарыс прадмета дзякуючы праменям *1* і *2* (мал. 258). Дзе ён размешчаны? Адказ абгрунтуйце пабудаваннем. Ці будзе гэты відарыс адзіным? Дзе знаходзіцца сам прадмет?

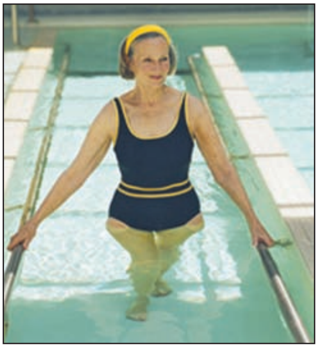
7. Ці можна сцвярджаць, што відарыс прадмета ў плоскім люстры (мал. 259) абсалютна ідэнтычны (аднолькавы) з прадметам?

8. Па стальніцы коціцца шарык. Як трэба ўстанавіць на стале плоскае люстра, каб відарыс шарыка рухаўся вертыкальна: а) уверх; б) уніз?

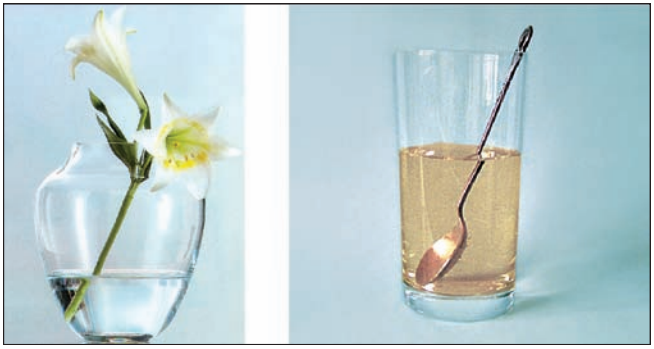
9. Якую мінімальную вышыню павінна мець плоскае люстра, замацаванае на вертыкальнай сцяне, каб вы маглі бачыць сябе ў ім ва ўвесь рост? На якой вышыні над падлогай павінен знаходзіцца ніжні край люстра?

§ 39. Праламленне святла

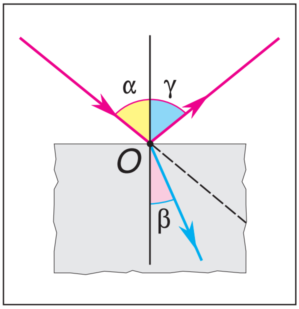
Чаму ногі чалавека, які зайшоў у ваду, здаюцца карацейшымі (мал. 260)? Дно басейна мы бачым бліжэй да паверхні, чым ёсць у сапраўднасці. Сцябло кветкі ў вазе, лыжка ў шклянцы на ўзроўні паверхні вады (мал. 261) здаюцца пераламанымі. Як растлумачыць гэтыя з'явы?



Мал. 260



Мал. 261



Мал. 262

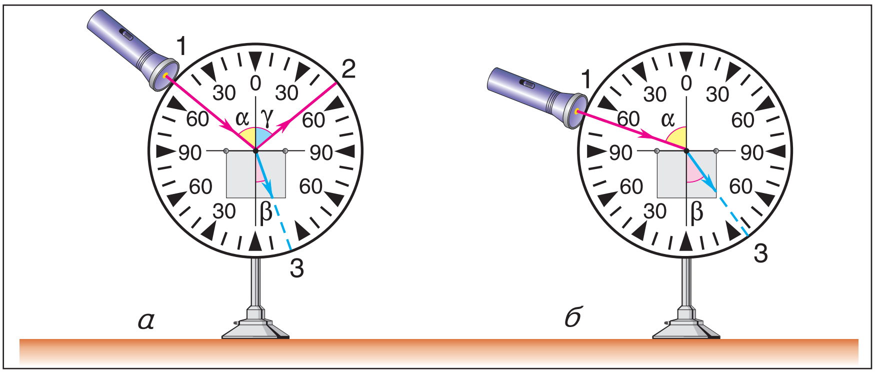
Калі пучок святла падае на мяжу падзелу двух празрыстых асяроддзяў, частка яго адбіваецца, а частка пераходзіць у другое асяроддзе, змяняючы свой напрамак (мал. 262).

Змяненне напрамку распаўсюджвання святла пры пераходзе яго праз мяжу падзелу двух асяроддзяў называецца праламленнем.

Якім законам падпарадкоўваецца праламленне святла?

Разгледзім дослед. У цэнтры аптычнага дыска замацуем шкляную пласцінку (мал. 263, *а*), накіруем на яе вузкі пучок святла (прамень *1*). Прамень *3* — праломлены прамень.

Вугал β паміж перпендыкулярам да мяжы падзелу двух асяроддзяў, праведзеным праз пункт падзення, і праломленым праменем называецца вуглом праламлення.



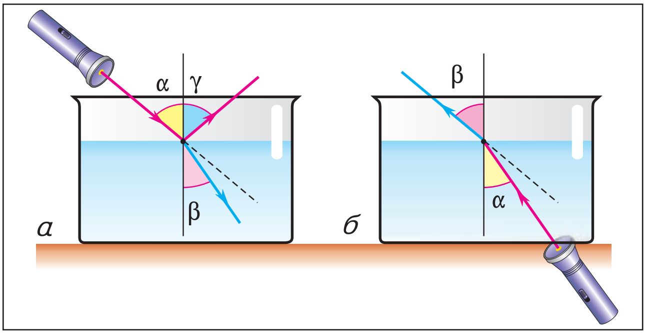
Мал. 263

Параўнаўшы вуглы α і β (гл. мал. 263, *а*), мы бачым, што вугал праламлення β меншы за вугал падзення α.

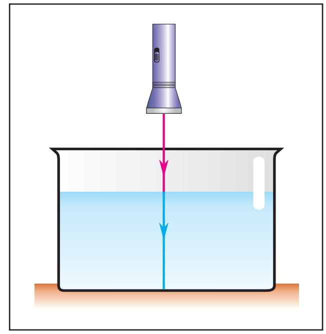
Павялічым вугал падзення, вугал праламлення таксама павялічваецца, але па-ранейшаму ён меншы за вугал падзення (мал. 263, *б*).

Калі шкло замяніць вадой і пусціць светлавы прамень пад тым жа вуглом α (мал. 264, *а*), што і на шкляную пласцінку, то вугал праламлення β у вадзе будзе крыху большы, чым у шкле, але меншы за вугал падзення: $\beta < \alpha$. Параўнаем скорасці святла ў паветры, вадзе і шкле: $v_{пав} > v_{в} > v_{шкл}$, г. зн. шкло аптычна больш шчыльнае асяроддзе, чым вада, а вада — чым паветра. Значыць, **пры пераходзе праменя з аптычна менш шчыльнага ў аптычна больш шчыльнае асяроддзе вугал праламлення меншы за вугал падзення.**

А калі прамень пераходзіць з вады ў паветра?



Мал. 264



Мал. 265

З доследу (мал. 264, *б*) відаць, што вугал β большы за вугал α. Значыць, **калі святло пераходзіць з асяроддзя аптычна больш шчыльнага ў аптычна менш шчыльнае, то вугал праламлення β большы за вугал падзення α**.

Гэты вывад лагічна вынікае з уласцівасці абарачальнасці, якая характэрна не толькі для падаючага і адбітага праменяў, але і для падаючага і праломленага праменяў.

З рэзультатаў праведзеных доследаў вынікае наступнае.

1. Прамені, падаючы і праломлены, ляжаць у адной плоскасці з перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення праменя да мяжы падзелу двух асяроддзяў.

2. Вугал праламлення меншы за вугал падзення пры пераходзе праменя з аптычна менш шчыльнага асяроддзя ў аптычна больш шчыльнае асяроддзе. Вугал праламлення большы за вугал падзення, калі прамень пераходзіць з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў аптычна менш шчыльнае.

Гэтыя два галоўныя палажэнні выражаюць сутнасць з'явы праламлення святла. Аднак, калі прамень падае перпендыкулярна на мяжу падзелу двух асяроддзяў, ён не зведвае праламлення, што можна пацвердзіць на доследзе (мал. 265).

Галоўныя вывады

1. Пры пераходзе з асяроддзя з адной аптычнай шчыльнасцю ў асяроддзе з другой аптычнай шчыльнасцю светлавы прамень на мяжы падзелу зведвае праламленне.

2. Прамень, які падае перпендыкулярна да мяжы падзелу двух асяроддзяў, не праламляецца.

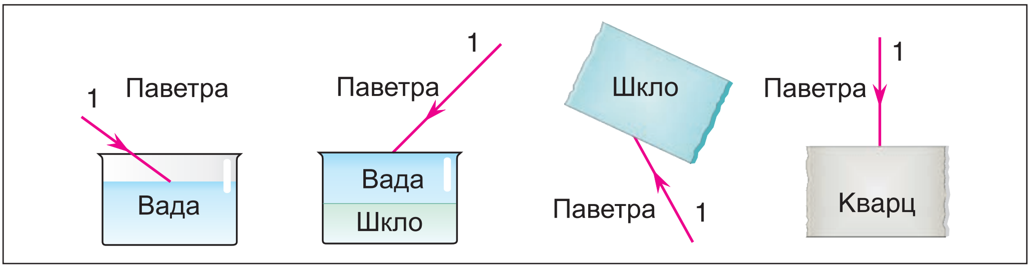
3. Калі прамень пераходзіць з аптычна менш шчыльнага асяроддзя ў аптычна больш шчыльнае, вугал праламлення меншы за вугал падзення ($\beta < \alpha$). Пры пераходзе праменя з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў менш шчыльнае $\beta > \alpha$.

Кантрольныя пытанні

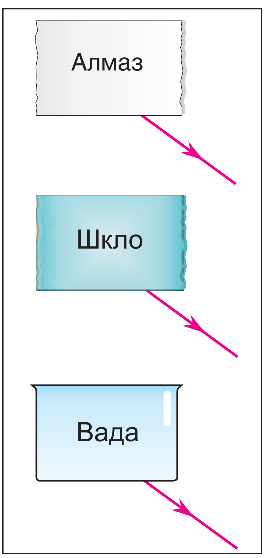
1. Якія з'явы адбываюцца са светлавым праменем на мяжы падзелу двух асяроддзяў?
2. Як залежыць змяненне напрамку праменя пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое ад скорасці святла ў іх?
3. Ці можа вугал праламлення быць большым за вугал падзення? У якіх выпадках?
4. Ці магчымы пераход праменя святла з аднаго асяроддзя ў другое без праламлення?
5. У якіх межах можа змяняцца вугал праламлення пры пераходзе праменя з вады ў паветра?

Практыкаванне 26

1. Пакажыце прыкладны ход праломленага праменя ў дадзеных асяроддзях (мал. 266): прамень *1* — падаючы прамень.



Мал. 266



Мал. 267

2. У якім асяроддзі прамень святла, які падае з паветра, будзе праламляцца пад большым вуглом: у вадзе, шкле або алмазе? Пакажыце гэта на чарцяжы.

3. Па якіх напрамках трэба пусціць прамені ў алмазе, шкле і вадзе (мал. 267), каб прамені, якія выйдуць з іх у паветра, былі паралельнымі?

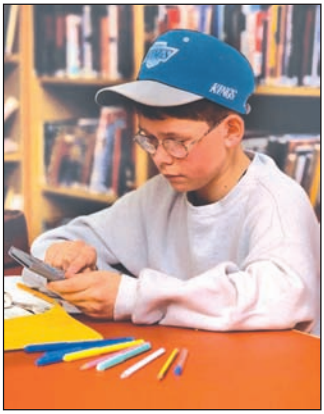
4. Як зменіцца шырыня пучка паралельных праменяў пасля праламлення яго на мяжы асяроддзяў паветра — вада? Зрабіце чарцёж, які растлумачыць адказ.

5. Чалавеку, які стаіць на беразе, здаецца, што ногі чалавека, які зайшоў у ваду, сталі карацейшыя. Растлумачце з дапамогай чарцяжа гэты аптычны падман.

6. Два хлопчыкі, адзін з якіх знаходзіцца пад вадой, а другі на беразе, ацэньваюць «на вока» вышыню Сонца над гарызонтам. Якому з іх Сонца будзе здавацца ніжэй?

§ 40. Лінзы. Аптычная сіла лінзы

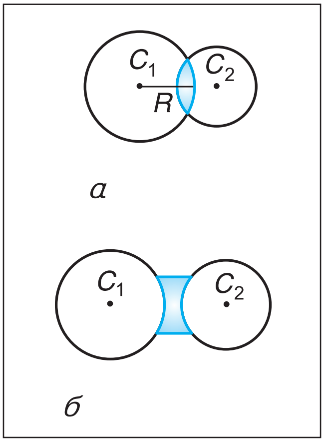
Многія людзі носяць акуляры (мал. 268). А ці задумваліся вы над пытаннямі: што яны сабой уяўляюць і якая іх роля? Акуляры ёсць не што іншае, як лінзы. Ні адзін аптычны прыбор (ад простай лупы да складаных тэлескопаў) не абыходзіцца без лінзаў. Што ж такое лінза?



Мал. 268

Лінза ўяўляе сабой празрыстае цела, абмежаванае крывалінейнымі (часцей сферычнымі) або крывалінейнай і плоскай паверхнямі. Матэрыялам для лінзаў звычайна служыць аптычнае або арганічнае шкло.

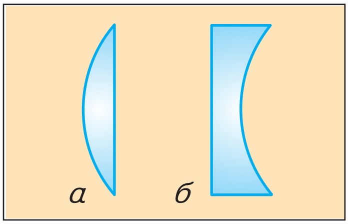
На малюнку 269 паказаны сячэнні лінзаў двух тыпаў: *дваякавыпуклай* (гл. мал. 269, *а*) і *дваякаўвагнутай* (гл. мал. 269. *б*). Адна з паверхняў лінзы можа быць плоскай, як, напрыклад, на малюнку 270.



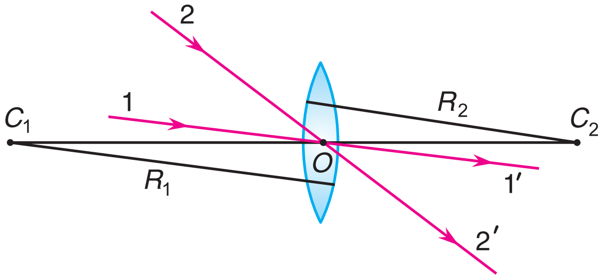
Мал. 269

Такія лінзы называюцца *плоскавыпуклая* (гл. мал. 270, *а*) і *плоскаўвагнутая* (гл. мал. 270, *б*). Прамая, якая праходзіць праз цэнтры C_1 і C_2 сферычных паверхняў (мал. 271), называецца *галоўнай аптычнай воссю лінзы*. Радыус R ёсць радыус крывізны паверхні лінзы (гл. мал. 269, *а*).

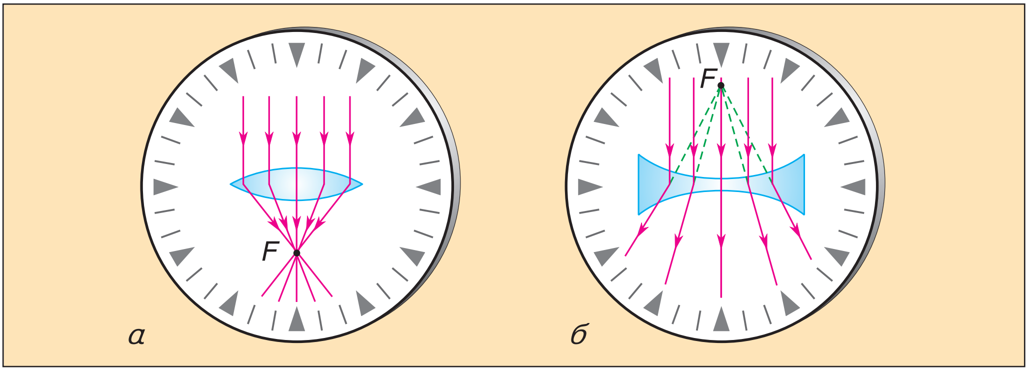
Калі таўшчыня лінзы (гл. мал. 271) малая ў параўнанні з радыусамі крывізны яе паверхняў, то лінза называецца *тонкай*. Яе часта паказваюць



Мал. 270



Мал. 271



Мал. 272

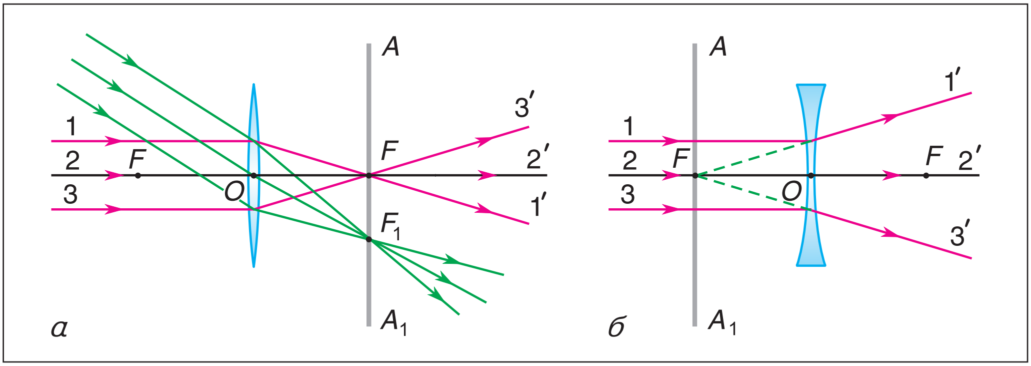
↕ або ⌶. Усякая лінза мае пункт, праходзячы праз які прамень не змяняе свайго напрамку. Гэты пункт O называецца *аптычным цэнтрам лінзы*. У далейшым мы будзем разглядаць толькі тонкія лінзы, выраблены з рэчыва, аптычна больш шчыльнага, чым асяроддзе (паветра), у якім яны знаходзяцца.

Як змяняюць лінзы напрамак падаючых на іх праменяў пасля пpаламлення? Атрымаем адказ з дапамогай доследу.

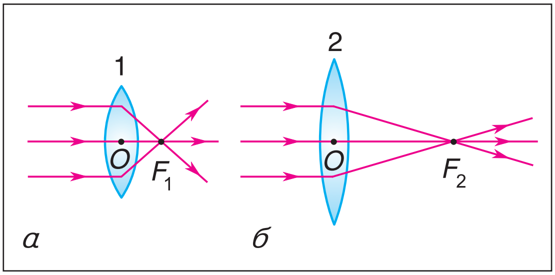
Накіруем на дваякавыпуклую (мал. 272, *а*) лінзу паралельна галоўнай аптычнай восі прамені святла. Пасля праламлення ў лінзе яны перасякаюць галоўную аптычную вось у адным пункце F. Значыць, дваякавыпуклая лінза збірае праломленыя прамені, таму такая лінза называецца **збіральнай**. Пры замене лінзы на дваякаўвагнутую (мал. 272, *б*) прамені пасля лінзы разыходзяцца, а цэнтральны прамень, як і ў першым выпадку, не зведвае праламлення. Такім чынам, дваякаўвагнутая лінза рассейвае паралельны пучок падаючых на яе праменяў. Таму такая лінза называецца **рассейвальнай**.

Пункт $\boldsymbol{F}$, у якім перасякаюцца праломленыя лінзай прамені, што падаюць паралельна галоўнай аптычнай восі, або іх прадаўжэнні, называецца **галоўным фокусам лінзы**. Паколькі паралельныя прамені можна пусціць як з аднаго, так і з другога боку лінзы, то і галоўных фокусаў у лінзы два. Абодва фокусы ляжаць на галоўнай аптычнай восі (мал. 273). А ў якім пункце збірае лінза прамені, што ідуць пад вуглом да галоўнай аптычнай восі? Аказваецца (гл. мал. 273, *а*), гэты пункт F_1 знаходзіцца ў плоскасці $A - A_1$, якая праходзіць праз галоўны фокус перпендыкулярна галоўнай аптычнай восі. Гэта плоскасць называецца *факальнай плоскасцю*, а пункт F_1, у адрозненне ад галоўнага фокуса, называецца *фокусам*.

Звярніце ўвагу, што ў збіральнай лінзы ў фокусе перасякаюцца самі праломленыя прамені, якія нясуць энергію, у рассейвальнай лінзы — пра-



Мал. 273



Мал. 274

даўжэнні праломленых праменяў (гл. мал. 273, *б*), таму фокус у збіральнай лінзы *сапраўдны,* а ў рассейвальнай — *уяўны.*

Адлегласць ад аптычнага цэнтра да галоўнага фокуса называецца **фокуснай адлегласцю**. Яе таксама прынята абазначаць літарай $\boldsymbol{F}$.

Лінза, якая мае больш выпуклыя паверхні, праламляе прамені мацней. Лінза *1* (мал. 274, *а*) праламляе прамені мацней, чым лінза *2* (мал. 274, *б*). Але фокусная адлегласць F_1 у лінзы *1* меншая, чым F_2 у лінзы *2*.

Каб колькасна ацаніць праламляльную здольнасць лінзы, увядзём велічыню, адваротную фокуснай адлегласці, і назавём яе **аптычнай сілай лінзы** (абазначаецца літарай $\boldsymbol{D}$):

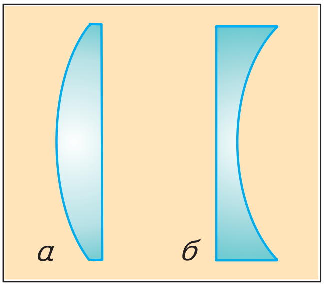
$$\boldsymbol{D} = \frac{1}{\boldsymbol{F}}.$$

Аптычная сіла вымяраецца ў *дыяптрыях* (скарочана *дптр*). Відавочна, што $D = 1$ дптр, калі фокусная адлегласць лінзы $F = 1$ м.

А як ацэньваецца аптычная сіла рассейвальнай лінзы, у якой фокус уяўны? У гэтым выпадку фокусная адлегласць адмоўная, а значыць, і аптычная сіла будзе адмоўнай велічынёй.

Напрыклад, калі $F = -0{,}5$ м, то аптычная сіла

$$D = \frac{1}{-0{,}5\ \text{м}} = -2\ \text{дптр}.$$



Мал. 275

Цяпер для вас не будзе загадкай рэкамендацыя ўрача-акуліста: «Вам патрэбны акуляры са шклом +1,5 дыяптрыі або –2 дыяптрыі».

Не трэба думаць, што любая лінза з выпуклай паверхняй будзе абавязкова збіральнай, а з увагнутай — рассейвальнай. Прапануем самастойна даказаць, што збіральнай будзе ўсякая лінза, у якой сярэдзіна таўсцейшая за краі (напрыклад, лінза на малюнку 275, *а*), а рассейвальнай — лінза, у якой сярэдзіна танчэйшая за краі (мал. 275, *б*). І не забывайцеся, што ўсе нашы разважанні справядлівыя, калі рэчыва лінзы (шкло) мае большую аптычную шчыльнасць, чым навакольнае асяроддзе (паветра).

Галоўныя вывады

1. Лінзы змяняюць напрамак падаючых на іх праменяў пасля праламлення за выключэннем тых, якія праходзяць праз аптычны цэнтр лінзы.

2. Збіральная лінза пасля праламлення робіць пучок праменяў сыходным, рассейвальная лінза — разыходным.

3. Прамені, якія ідуць паралельна галоўнай аптычнай восі, пасля праламлення ў збіральнай лінзе перасякаюцца ў галоўным фокусе. У рассейвальнай лінзе ў галоўным фокусе перасякаюцца прадаўжэнні праломленых праменяў.

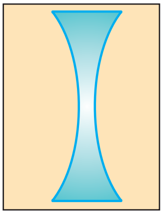
4. Велічыня, адваротная фокуснай адлегласці, з'яўляецца аптычнай сілай лінзы.

Кантрольныя пытанні

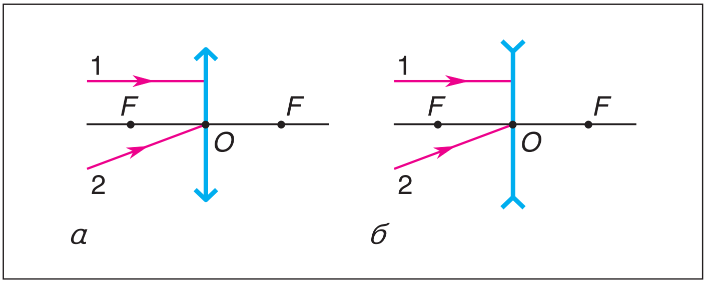
1. Якую лінзу называюць тонкай?
2. Якой асаблівай уласцівасцю валодае аптычны цэнтр тонкай лінзы?
3. Як паводзіць сябе паралельны пучок праменяў, што прайшоў праз: а) збіральную лінзу; б) рассейвальную лінзу?
4. Чаму ў збіральнай лінзы фокус сапраўдны, а ў рассейвальнай — уяўны?
5. Як залежыць аптычная сіла лінзы ад фокуснай адлегласці?

Практыкаванне 27

1. На малюнку 276 паказана лінза. Начарціце такую ж у сваім сшытку і пакажыце цэнтры крывізны, радыусы крывізны, галоўную вось і аптычны цэнтр лінзы.



Мал. 276



Мал. 277

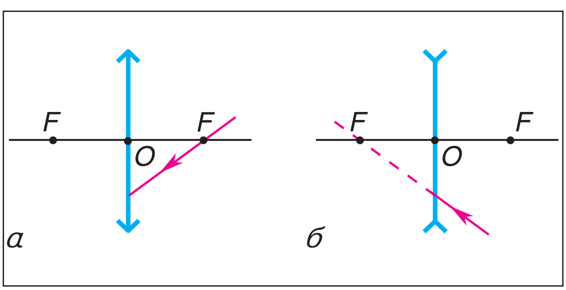
2. Для дадзеных лінзаў (мал. 277, *а*, *б*) пакажыце ход праменяў *1*, *2* пасля праламлення лінзамі.

3. Пакажыце ход праменяў, што падаюць на тонкія збіральную і рассейвальную лінзы (мал. 278, *а*, *б*).

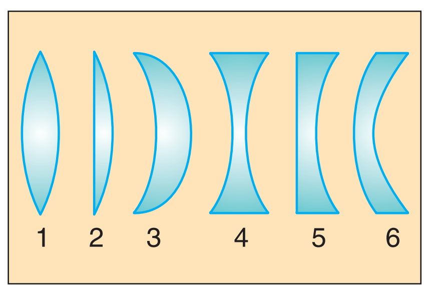
4. Вызначце аптычныя сілы збіральнай і рассейвальнай тонкіх лінзаў з фокуснымі адлегласцямі $F_1 = 2$ м, $F_2 = -0{,}2$ м.

5. Якія фокусныя адлегласці лінзаў, аптычныя сілы якіх роўны $D_1 = 5{,}0$ дптр, $D_2 = -0{,}40$ дптр? Якой з'яўляецца кожная з лінзаў: збіральнай або рассейвальнай?

6. Па форме абмежавальных паверхняў лінзы можна падзяліць на 6 тыпаў (мал. 279). З лінзамі *1*, *2*, *4*, *5* вы ўжо знаёмы. Лінза *3* — увагнута-выпуклая, лінза *6* — выпукла-ўвагнутая. Якія з іх маюць дадатную аптычную сілу? Адмоўную? Пры якіх умовах?



Мал. 278

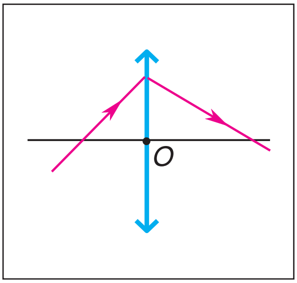


Мал. 279

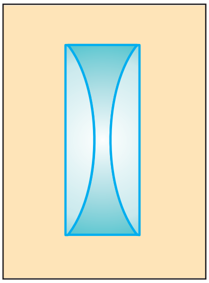
7. Знайдзіце з дапамогай пабудавання становішча факальнай плоскасці паказанай на малюнку 280 тонкай лінзы.

8. Чаму роўна аптычная сіла камбінацыі трох шкляных лінзаў (мал. 281): дваякаўвагнутай і дзвюх плоскавыпуклых?

Мал. 280



Мал. 281




9. Ці можа дваякавыпуклая лінза мець адмоўную аптычную сілу? У якім выпадку?

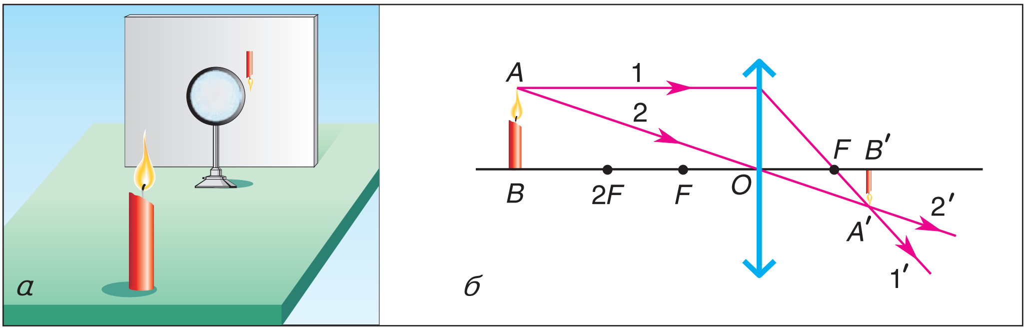

10. Як зменіцца аптычная сіла дваякавыпуклай шкляной лінзы, калі яе змясціць у ваду? Чаму?

§ 41. Пабудаванне відарысаў у тонкіх лінзах

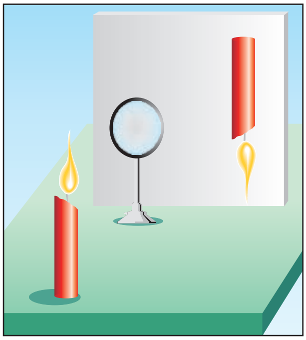
Гледзячы ў акуляр мікраскопа на ўроках біялогіі, разглядаючы павялічаны відарыс мікробаў, вы павінны разумець, што галоўнымі часткамі мікраскопа з'яўляюцца лінзы. Менавіта яны дазваляюць атрымліваць павялічаны або паменшаны (у фотаапараце) відарыс прадмета.

Якія відарысы прадмета стварае лінза?

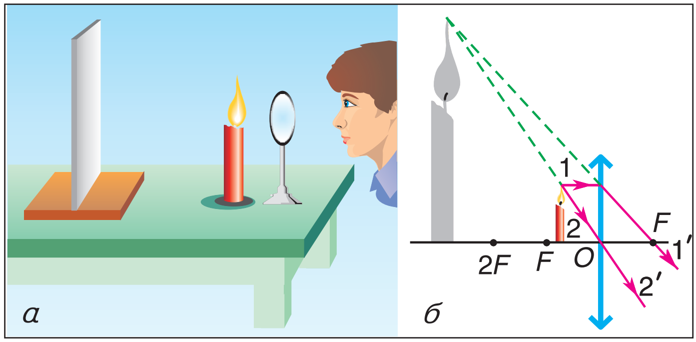
Правядзём дослед. На стале размесцім экран, збіральную лінзу і запаленую свечку (мал. 282, *а*), аддаленую ад лінзы на адлегласць d, большую за двайную фокусную, г. зн. $d > 2F$. Будзем перасоўваць экран у напрамку да лінзы да таго часу, пакуль на экране не ўбачым выразны відарыс полымя свечкі. Чым адрозніваецца ён ад відарыса, які мы ўбачым у люстры, змясціўшы перад ім гэтую ж свечку? Па-першае, ён паменшаны, па-другое, перавернуты. Але самае галоўнае



Мал. 282



Мал. 283



Мал. 284

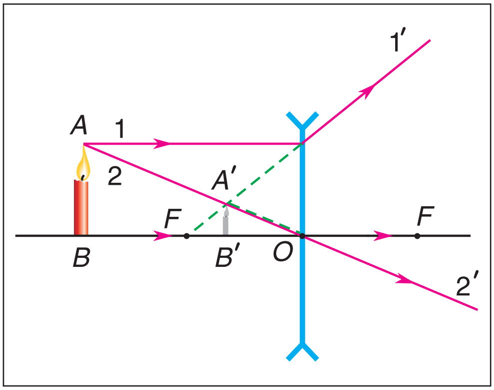
ў тым, што гэты відарыс, у адрозненне ад уяўнага відарыса ў люстры, рэальна існуе. На экране канцэнтруецца энергія святла. Адчувальны тэрмометр, змешчаны ў відарыс полымя свечкі, пакажа павышэнне тэмпературы. Змясціўшы замест экрана фотаплёнку, мы можам атрымаць фотаздымак свечкі. Таму атрыманы ў лінзе відарыс называюць сапраўдным у адрозненне ад уяўных відарысаў, якіяназіраюцца ў плоскім люстры.

Пацвердзім сказанае з дапамогай пабудавання (мал. 282, *б*). Для атрымання відарыса пункта A дастаткова выкарыстаць два прамені, ход якіх пасля праламлення ў лінзе вядомы. Прамень *1* ідзе паралельна галоўнай аптычнай восі і пасля праламлення ў лінзе праходзіць праз галоўны фокус. Прамень *2* ідзе праз аптычны цэнтр і не змяняе свайго напрамку пасля праходжання праз лінзу. Пункт A', які з'яўляецца перасячэннем праломленых праменяў *1′* і *2′*, ёсць сапраўдны відарыс пункта A. Заўважым, што праз пункт A' пройдзе і любы іншы праломлены прамень, які ідзе ад пункта A, дзякуючы чаму энергія, што выпраменьваецца пунктам A свечкі, будзе сканцэнтравана ў пункце A'.

Прадоўжым дослед. Паставім свечку на адлегласці $d = 2F$ (мал. 283). Перамяшчаючы экран, мы ўбачым на ім сапраўдны, перавернуты відарыс полымя свечкі, але памер яго будзе роўны памеру полымя самой свечкі. Зрабіце самі пабудаванне відарыса для гэтага выпадку.

Перасоўваючы свечку бліжэй да лінзы ($F < d < 2F$) і аддаляючы экран, мы ўбачым на ім сапраўдны, перавернуты, павялічаны відарыс полымя свечкі (пабудуйце відарыс самі).

Нарэшце паставім свечку на адлегласці d ад лінзы, меншую за фокусную, г. зн. $d < F$. З таго ж боку, дзе знаходзіцца сама свечка, можна ўбачыць павялічаны прамы відарыс свечкі (мал. 284, *а*). Пацвердзім гэты рэзультат з дапамогай пабудавання (мал. 284, *б*).



Мал. 285

Відарыс свечкі будзе ўяўным, паколькі ён утвораны перасячэннем не саміх праломленых праменяў, а іх прадаўжэнняў.

А якія відарысы прадмета дае рассейвальная лінза? Няхай паралельна галоўнай аптычнай восі падае прамень *1* (мал. 285). Пасля лінзы праломлены прамень *1′* ідзе так, што толькі яго прадаўжэнне праходзіць праз фокус. Прамень *2* не зведвае праламлення. Відаць, што прамені *1′* і *2′* не перасякаюцца. У пункце *A′* перасякаюцца іх прадаўжэнні. Тады відарыс пункта *A*, а значыць, і ўсяго прадмета *AB*, уяўны. Як усе ўяўныя відарысы, ён прамы, але паменшаны.

Ці дасць рассейвальная лінза сапраўдны відарыс, калі змяняць становішча прадмета? Ці можа ён быць павялічаным? Адкажыце на гэтыя пытанні самі, зрабіўшы адпаведныя пабудаванні відарысаў прадмета ў сшытку.

Галоўныя вывады

1. Збіральная лінза дае як сапраўдныя, так і ўяўныя відарысы, рассейвальная — толькі ўяўныя.

2. Усе ўяўныя відарысы — прамыя, усе сапраўдныя — перавернутыя.

3. Для знаходжання відарыса пункта мэтазгодна выкарыстоўваць прамень, які ідзе паралельна галоўнай аптычнай восі лінзы, і прамень, што ідзе праз яе аптычны цэнтр.

Кантрольныя пытанні

1. Чым адрозніваюцца сапраўдныя відарысы ад уяўных?
2. Якія віды відарысаў дае збіральная лінза?
3. На якой адлегласці ад збіральнай лінзы трэба размясціць прадмет, каб атрымаць відарыс: а) паменшаны; б) роўны прадмету; в) павялічаны (прамы і перавернуты)?
4. Якія віды відарысаў дае рассейвальная лінза? Чаму яна не можа даваць сапраўдных відарысаў?
5. Якія прамені мэтазгодна выкарыстоўваць, каб знайсці відарыс пункта? Чаму?
6. Ці можа дваякаўвагнутая лінза даць сапраўдны відарыс прадмета? Чаму?

Прыклад рашэння задачы

З дапамогай шкляной лінзы на экране, аддаленым ад лінзы на адлегласць $f = 36$ см, атрыманы павялічаны ў 3 разы відарыс прадмета. Вызначце адлегласць ад прадмета да лінзы і аптычную сілу лінзы.

Дадзена:	Рашэнне
$H = 3h$ $f = 36$ см	Пабудуем відарыс прадмета ў лінзе (мал. 286). Улічым, што відарыс ёсць на экране, значыць, ён сапраўдны. Акрамя таго, павялічаны. Значыць, прадмет знаходзіцца паміж фокусам і двайным фокусам, а лінза збіральная.
d — ? D — ?	З пабудавання:

$$OB' = f;\ OB = d;$$

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{H}{f} \text{ и } \text{tg}\,\alpha = \frac{h}{d}, \text{ але } H = 3h.$$

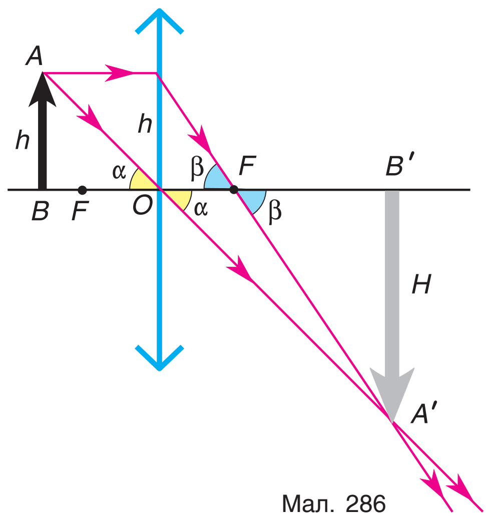
Тады:

$$\frac{3h}{f} = \frac{h}{d};\ \frac{3}{f} = \frac{1}{d};$$

$$d = \frac{f}{3} = \frac{36\text{ см}}{3} = 12\text{ см}.$$

Аптычная сіла $D = \frac{1}{F}$. Каб знайсці фокусную адлегласць, выкарыстаем трохвугольнікі з аднолькавымі вугламі β.

$$\text{tg}\,\beta = \frac{h}{F} \text{ і } \text{tg}\,\beta = \frac{H}{f - F};\ \frac{h}{F} = \frac{3h}{f - F}.$$



Мал. 286

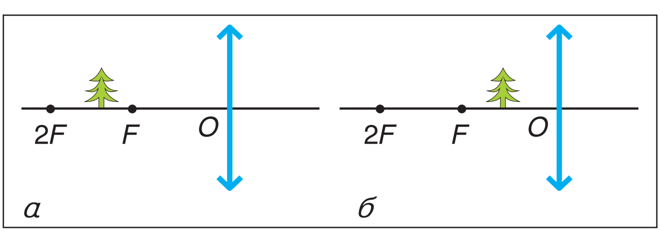
Адкуль:

$$F = \frac{f}{4};\ F = \frac{36\text{ см}}{4} = 9\text{ см} = 0{,}09\text{ м};\ D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0{,}09} = 11\text{ дптр}.$$

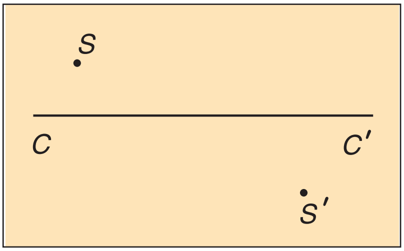
Адказ: $d = 12$ см; $D = 11$ дптр.

Практыкаванне 28

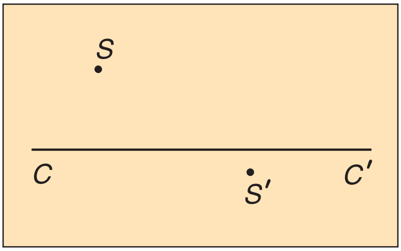
1. Пабудуйце відарыс прадмета (мал. 287, *а, б*). Зрабіце вывады.



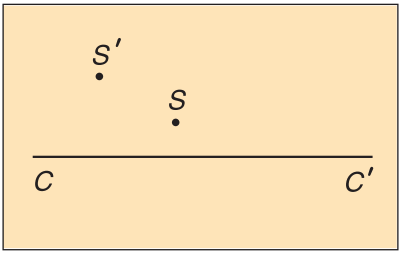
Мал. 287



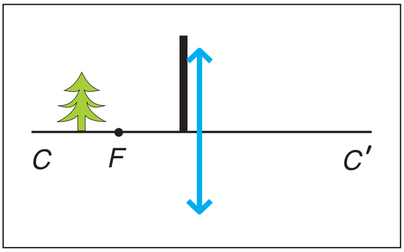
Мал. 288



Мал. 289



Мал. 290



Мал. 291

2. З дапамогай лінзы атрыманы ўяўны відарыс прадмета. Ці дастаткова гэтай інфармацыі, каб вызначыць, збіральная ці рассейвальная лінза была выкарыстана? Чаму?

3. Для распальвання вогнішча на ліст паперы факусуюць сонечныя прамені, выкарыстоўваючы збіральную лінзу з аптычнай сілай $D = 5{,}0$ дптр. Пры якой адлегласці ад ліста да лінзы нагрэў ліста будзе максімальным? Чаму?

4. Відарыс S' пункта S, які свеціцца, паказаны на малюнку 288. Якая лінза была выкарыстана? З дапамогай пабудавання вызначце яе становішча.

5. Сапраўдны ці ўяўны фокус мае лінза, з дапамогай якой атрыманы відарыс пункта S, які свеціцца, у становішчы S' (мал. 289)? Дзе ён знаходзіцца? Выканайце чарцёж.

6. Лінза дае перавернуты і роўны па велічыні самому прадмету відарыс прадмета, які знаходзіцца на адлегласці $d = 40$ см ад аптычнага цэнтра. Знайдзіце аптычную сілу лінзы. Адказ пацвярдзіце чарцяжом.

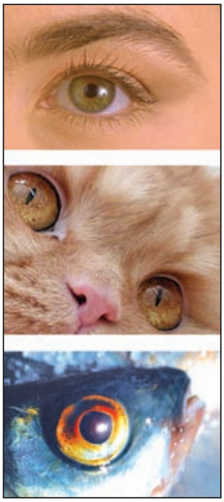
7. Свечка знаходзіцца на адлегласці $d = 20$ см ад лінзы, а яе відарыс на экране — на адлегласці $f = 60$ см ад лінзы. У колькі разоў памеры відарыса адрозніваюцца ад памераў самой свечкі? Чаму роўна аптычная сіла лінзы?

8. На малюнку 290 дадзена становішча пункта S прадмета і яго відарыс S'. Які відарыс прадмета дае лінза? Дзе размешчана сама лінза? Збіральная ці рассейвальная выкарыстана лінза? Адказ пацвярдзіце чарцяжом.

9. Кроплі вады, пападаючы на лісце, у сонечны дзень могуць выклікаць апёкі лісцяў. Чаму?

10. Як зменіцца відарыс, які дае лінза, калі палову лінзы закрыць (мал. 291)?

§ 42. Вока як аптычная сістэма

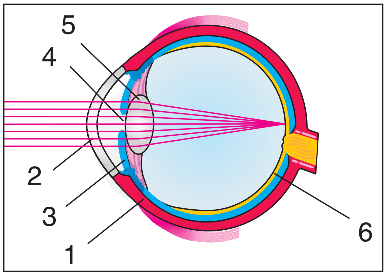


Мал. 292

Дзякуючы зроку (мал. 292) увесь жывы свет атрымлівае асноўную частку інфармацыі. Гэта разумее кожны з нас. Разам з тым да галоўнага органа зроку — вачэй — мы адносімся недаравальна бестурботна, не звяртаючы ўвагі на ўсе рэкамендацыі ўрачоў-акулістаў, часта неабарачальна губляючы зрок.

Што ўяўляе сабой вока чалавека? Часам вока называюць жывым фотаапаратам, паказваючы на іх падабенства. Аднак вока з'яўляецца непараўнальна больш тонкім і складаным прыборам, чым самы сучасны фотаапарат.

Вока чалавека ўяўляе сабой *вочны яблык,* разрэз якога паказаны на малюнку 293. Вонкавая абалонка вока — *склера 1* сфарміравана са шчыльных злучальных валокнаў. Склера ахоўвае вока і забяспечвае яго цвёрдасць. У пярэдняй частцы вока склера пераходзіць у празрыстую *рагавіцу 2*. Рагавіца — аптычна найбольш шчыльнае асяроддзе вока, яно прапускае святло ў вока. За рагавіцай знаходзіцца *радужная абалонка 3*, якая змяшчае пігмент, што вызначае колер вачэй. У цэнтры радужнай абалонкі знаходзіцца *зрэнка 4*. Зрэнка, звузваючыся або расшыраючыся, дазіруе колькасць светлавой энергіі, якая пападае ў вока. На святле зрэнка звужаецца, засцерагаючы вока ад моцнага светлавога ўздзеяння, у цемнаце — расшыраецца, дазваляючы ўлоўліваць вельмі слабыя светлавыя пучкі. За радужнай абалонкай знаходзіцца празрыстае эластычнае цела — *хрусталік 5*, які па форме нагадвае дваякавыпуклую лінзу. Намаганнямі спецыяльных мышцаў хрусталік можа павялічваць або памяншаць сваю крывізну. Гэта павялічвае або памяншае яго аптычную сілу (памяншае фокусную адлегласць). Поласць паміж рагавіцай і хрусталікам запоўнена *празрыстай вадкасцю*. За хрусталікам амаль уся вобласць вока запоўнена *шклопадобным целам* — гэта студзяністая бясколерная маса. **Рагавіца, празрыстая вадкасць, хрусталік і шклопадобнае цела — усе разам складаюць аптычную сістэму вока.** Унутраная абалонка — *сятчатка 6* змяшчае слой зрокавых клетак. Менавіта тут і адбываецца пераўтварэнне светлавой энергіі, якая папала ў



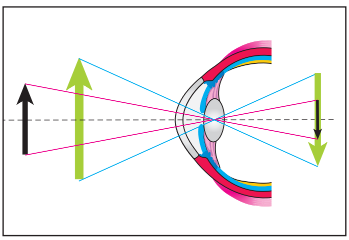
Мал. 293

вока ад прадмета, у нервовы імпульс, што перадаецца ў галаўны мозг, дзе і фарміруецца зрокавы вобраз.

Такім чынам, каб выразна бачыць прадмет, неабходна, каб аптычная сістэма вока (як лінза) сфакусіравала прамені, якія ідуць ад прадмета, на сятчатцы (гл. мал. 293).

Мы добра бачым як больш блізкія, так і далёкія прадметы. Вадзіцель аўтамабіля выразна бачыць лічбы на спідометры, а ў наступнае імгненне гэтак жа добра — аддалены дарожны знак. Ва ўсіх выпадках святло, якое пападае ў вока ад прадметаў, павінна сфакусіравацца ў адным месцы (на сятчатцы). Звычайная лінза збірае ў факальнай плоскасці толькі прамені, якія ідуць паралельна галоўнай аптычнай восі, г. зн. ад далёкіх прадметаў. А пры іх набліжэнні відарыс у лінзе будзе знаходзіцца паміж фокусам і двайным фокусам (гл. § 41).

Змяняючы сваю форму, хрусталік змяняе аптычную сілу сістэмы. Гэта называецца *акамадацыяй* вока. Пры набліжэнні прадмета хрусталік робіцца больш выпуклым, яго фокусная адлегласць памяншаецца так, каб відарыс аказаўся менавіта на сятчатцы. Пры аддаленні прадмета хрусталік выцягваецца, робіцца менш выпуклым, фокусная адлегласць павялічваецца, а відарыс зноў аказваецца на сятчатцы (мал. 294). Такім чынам, дзякуючы акамадацыі вока чалавек добра бачыць рознааддаленыя прадметы.



Мал. 294

Галоўныя вывады

1. Вока, якое спалучае некалькі праламляючых асяроддзяў, з'яўляецца эквівалентам кароткафокуснай збіральнай лінзы.
2. Бачанне прадметаў ёсць сумесная дзейнасць аптычнай сістэмы вока і галаўнога мозга.
3. Каб відарыс рознааддаленых прадметаў заўсёды быў на сятчатцы, хрусталік змяняе сваю крывізну (адбываецца акамадацыя).

Кантрольныя пытанні

1. Якую ролю ў стварэнні зрокавага вобраза адыгрывае аптычная сістэма вока?
2. Чаму светлавыя прамені, якія ідуць ад прадмета, павінны быць сфакусіраваны на сятчатцы вока?
3. Які відарыс прадмета ствараецца на сятчатцы?
4. Што такое акамадацыя вока?
5. Якія змяненні зведвае хрусталік, калі позірк пераводзіцца з больш блізкага прадмета на больш аддалены?
6. Па меры аддалення аўтамабіля мы бачым яго ўсё меншым і меншым. Як гэта растлумачыць?

§ 43. Дэфекты зроку. Акуляры

Нельга не заўважыць, што большасць людзей пажылога ўзросту носяць акуляры (мал. 295). Гэта сведчыць аб тым, што аптычная сістэма іх вачэй перастала працаваць нармальна. Дэфекты зроку назіраюцца і ў дзяцей.


Мал. 295

У чым сутнасць дэфектаў зроку і як іх скарэкціраваць?

Аптычная сістэма нармальнага вока дае відарыс прадмета на сятчатцы.

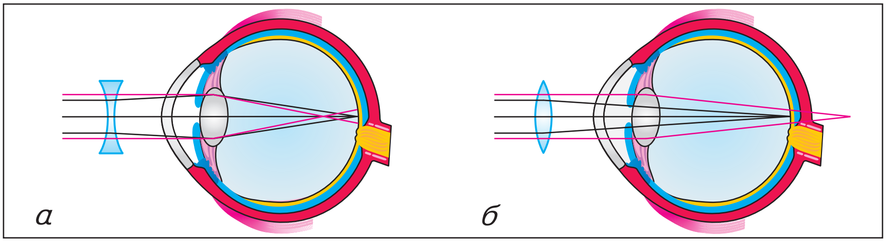
Аднак з-за розных прычын відарыс далёкіх прадметаў можа фарміравацца не на сятчатцы, а перад ёй (мал. 296, *а*). Такі дэфект зроку называюць **блізарукасцю** (у медыцыне — міяпіяй).

Блізарукасць бывае прыроджанай і набытай. Прычынай з'яўлення блізарукасці ў дзяцей можа быць празмерная звычка чытаць, трымаючы тэкст блізка каля вачэй.

Як скарэкціраваць блізарукасць? З гэтай мэтай выкарыстоўваюць акуляры з рассейвальнымі шкло-лінзамі. Рассейвальная лінза робіць паралельны пучок святла разыходным (гл. мал. 296, *а*). Прамені пасля праламлення ў воку факусіруюцца на сятчатцы.

Пры другім дэфекце зроку — **дальназоркасці** — аптычнай сілы вока недастаткова для факусіроўкі на сятчатцы вока праменяў, якія ідуць ад блізка размешчаных прадметаў (тэксту кнігі, прыбора і г. д.). Галоўная прычына дальназоркасці — страта эластычнасці хрусталіка. Нават самымі вялікімі намаганнямі мышцаў ён не можа набыць неабходную крывізну. Гэты дэфект, за рэдкімі выключэннямі, уласцівы для зроку большасці пажылых людзей. Карэкціруецца дэфект дальназоркасці з дапамогай акуляраў з дадатнай аптычнай сілай збіральных лінзаў (мал. 296, *б*).

Такім чынам, скарэкціраваць зрок можна з дапамогай акуляраў. Часам замест акуляраў выкарыстоўваюць кантактныя лінзы. Гэта пластмасавыя лінзы, якія накладваюцца непасрэдна на вочны яблык. Асноўным недахопам кантактных лінзаў



Мал. 296


Мал. 297

з’яўляецца раздражненне вачэй пры працяглым іх нашэнні. У апошні час праводзіцца лазерная карэкцыя хрусталіка вока.

Для любой жывой істоты вока з’яўляецца вельмі важным органам. Маючы ўласцівасць захоўваць зрокавы вобраз на працягу $\frac{1}{16}$ с, вока дае магчымасць чалавеку адчуваць як непарыўныя падзеі, паказаныя на экране, хоць мы добра ведаем, што ў сапраўднасці на экран праецыруецца 24 нерухомыя карціны-кадры ў секунду (мал. 297).

Для нармальнага зроку мінімальная адлегласць ад вока да прадмета, пры якой вока бачыць дэталі прадмета без намаганняў, роўна 25 см. Гэта адлегласць найлепшага бачання. Пры меншых адлегласцях да прадмета вока ўжо напружваецца і стамляецца.

Стамляльнасці вока садзейнічае як недастатковае асвятленне, так і залішняе.

Каб вока як самае адкрытае акно ў свет праслужыла доўга, неабходна яго берагчы, г. зн. ствараць умовы для яго ненапружанай работы.

Галоўныя вывады

1. Блізарукасць — дэфект зроку, пры якім відарыс аддаленых прадметаў знаходзіцца перад сятчаткай вока. Карэкціруецца блізарукасць прымяненнем рассейвальных лінзаў.

2. Дальназоркасць — дэфект зроку, пры якім відарыс блізкіх прадметаў знаходзіцца за сятчаткай вока. Карэкціруецца дальназоркасць прымяненнем збіральных лінзаў.

Кантрольныя пытанні

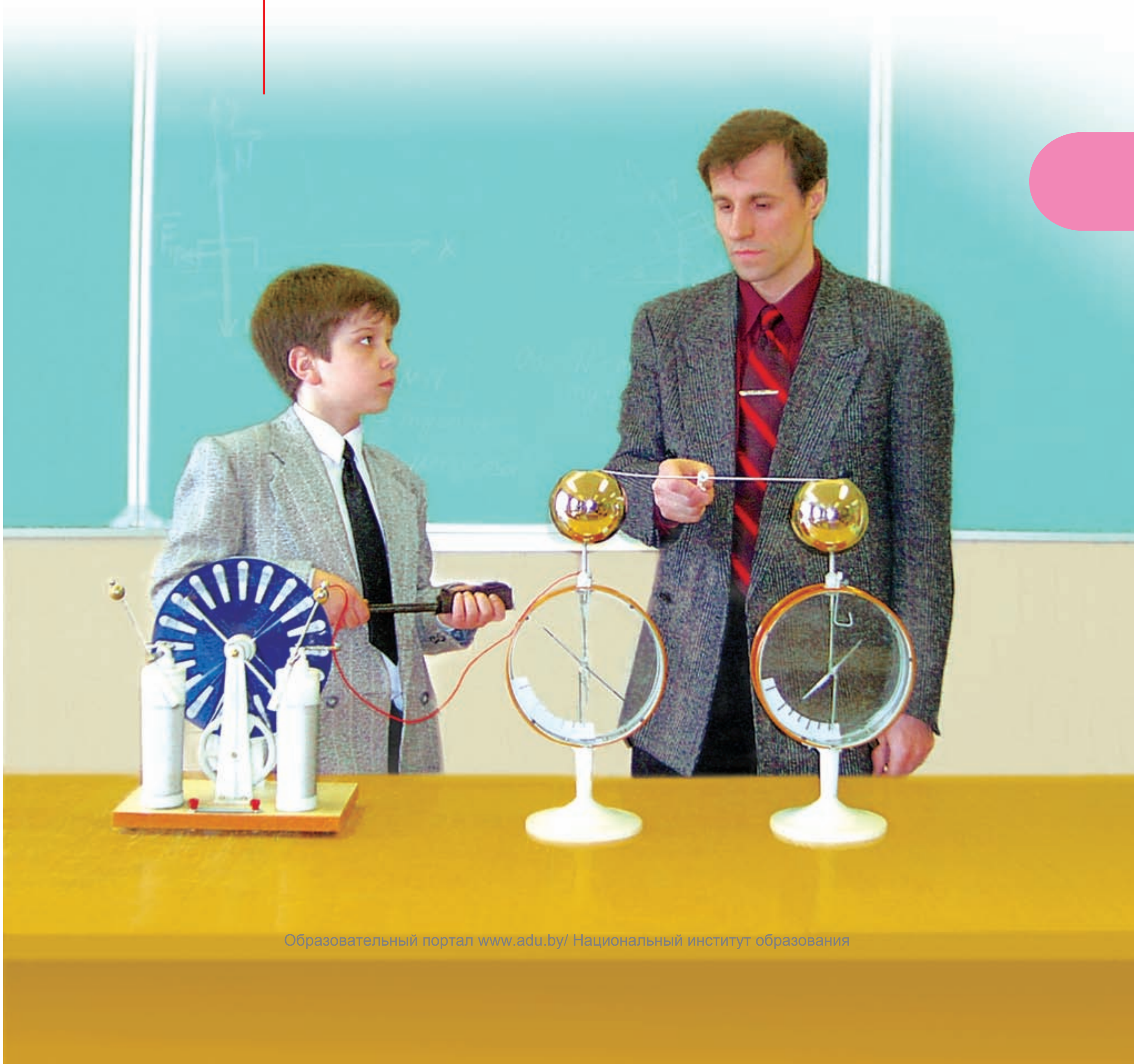
1. У чым сутнасць дэфекта зроку «блізарукасць»?
2. Дзе размешчаны відарыс блізкіх прадметаў у воку дальназоркага чалавека?
3. Ці можна, не дакрануючыся да шкла акуляраў, вызначыць, які дэфект зроку мае іх уладальнік? Як гэта зрабіць?
4. На рэцэпце напісана: «Акуляры +2,5 дптр». Расшыфруйце, якія гэта акуляры і для якога дэфекта зроку. Якую фокусную адлегласць маюць шкло-лінзы гэтых акуляраў?
5. Ці можа чалавек, які мае дальназоркасць, выкарыстаць акуляры з дваякаўвагнутымі лінзамі? Чаму?
6. Які дэфект зроку мае плывец, калі пад вадой ён бачыць нармальна? Чаму?
7. Чаму ў старасці ў блізарукага з дзяцінства чалавека зрок можа стаць нармальным?



4 Лабараторны эксперымент

«Адзін дослед я стаўлю вышэй за тысячу меркаванняў, народжаных толькі ўяўленнем».

М. В. Ламаносаў



Лабараторная работа 1. ***Параўнанне колькасці цеплаты пры цеплаабмене***

Мэта: праверыць выкананне закона захавання і ператварэння энергіі ў цеплавых з'явах.

Абсталяванне: тэрмометр лабараторны, каларыметр, мензурка, колба з вадой (мал. 298), чайнік з цёплай вадой (адзін на клас).



Мал. 298

Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні і вылічэнні

1) Вымерайце тэмпературу t_1 вады ў колбе, запішыце яе ў справаздачу.

2) Падыдзіце да стала настаўніка з каларыметрам і наліце ў яго 100 мл цёплай вады.

3) На рабочым месцы вымерайце і запішыце тэмпературу t_2 цёплай вады.

4) Не вымаючы тэрмометр, уліце ў каларыметр з колбы 100 мл вады пакаёвай тэмпературы.

5) Перамешваючы тэрмометрам ваду, сачыце за паніжэннем тэмпературы ў каларыметры і запішыце тэмпературу t_3, якая ўстанавілася.

6) Знайдзіце і запішыце змяненне тэмпературы цёплай вады $\Delta t_2 = t_3 - t_2$ і змяненне тэмпературы халоднай вады $\Delta t_1 = t_3 - t_1$.

7) Разлічыце колькасць цеплаты, аддадзеную цёплай вадой: $Q_2 = cm_2(t_3 - t_2)$, дзе m_2 — маса цёплай вады.

8) Разлічыце колькасць цеплаты, атрыманую халоднай вадой: $Q_1 = cm_1(t_3 - t_1)$, дзе m_1 — маса халоднай вады.

9) Параўнайце модулі колькасцей аддадзенай і атрыманай цеплаты і зрабіце вывады.

II. Кантрольныя пытанні

1) Як вызначалася ў доследзе маса вады?

2) Чаму каларыметр мае падвойныя сценкі?

3) Чаму халодную ваду трэба браць пакаёвай тэмпературы?

4) Ці будуць роўныя модулі змянення тэмпературы і колькасцей аддадзенай і атрыманай цеплаты, калі выкарыстаць няроўныя масы цёплай і халоднай вады?

III. Суперзаданне

Растлумачце, як уплывае на атрыманыя рэзультаты ўдзел у цеплаабмене каларыметра. Ці заўсёды гэты ўплыў можна не прымаць у разлік?

Лабараторная работа 2. ***Вымярэнне ўдзельнай цеплаёмістасці рэчыва***

Мэта: навучыцца вымяраць удзельную цеплаёмістасць рэчыва.

Абсталяванне: тэрмометр лабараторны, каларыметр, мензурка, колба з вадой, вагі, разнавагі, цыліндр металічны з ніткай (або кручком) (мал. 299), фільтравальная папера, пасудзіна з кіпенем (адна на клас).



Мал. 299

Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні і вылічэнні

1) Наліце ў каларыметр вады пакаёвай тэмпературы аб'ёмам 150—180 мл. Вымерайце і запішыце ў справаздачу тэмпературу t_1 і масу m_1 гэтай вады.

2) Падыдзіце з каларыметрам да стала настаўніка і, атрымаўшы з пасудзіны з кіпячай вадой цыліндр на нітцы, адразу ж апусціце яго ў каларыметр.

3) На рабочым месцы апусціце ў каларыметр с целам на нітцы тэрмометр і, перамешваючы ім ваду, назірайце за павышэннем тэмпературы.

4) Калі тэмпература вады ў каларыметры перастане расці, запішыце ў справаздачу значэнне тэмпературы t_3, што канчаткова ўстанавілася.

5) Вызначце і запішыце змяненне тэмпературы вады $\Delta t_1 = t_3 - t_1$ і змяненне тэмпературы даследуемага цыліндра $\Delta t_2 = t_3 - t_2$, дзе t_2 — тэмпература кіпення вады.

6) Выньце цыліндр з каларыметра і, прамакнуўшы яго фільтравальнай паперай, вызначце на вагах яго масу m_2.

7) Па формуле $Q_1 = c_1 m_1 (t_3 - t_1)$, дзе c_1 — удзельная цеплаёмістасць вады, роўная 4200 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$, знайдзіце колькасць цеплаты, атрыманую вадой.

8) Лічачы, што аддадзеная металічным цыліндрам цеплата Q_2 роўна па модулі атрыманай вадой цеплаце Q_1, выкарыстайце формулу $|Q_2| = c_2 m_2 (t_2 - t_3)$ і знайдзіце ўдзельную цеплаёмістасць рэчыва цыліндра:

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t_3 - t_1)}{m_2 (t_2 - t_3)}.$$

II. Кантрольныя пытанні

1) Якому рэчыву адпавядае знойдзеная ў рабоце ўдзельная цеплаёмістасць?

2) Як растлумачыць разыходжанне паміж знойдзеным і таблічным значэннямі ўдзельнай цеплаёмістасці?

3) Да якога рэзультату (заведама завышанага або заведама заніжанага) прыводзіць прыменены ў рабоце метад?

III. Суперзаданне

Даследуйце, як уплывае на дакладнасць атрыманага рэзультату значэнне масы ўзятай для доследу вады.

Лабараторная работа 3. ***Зборка электрычнага ланцуга і вымярэнне сілы току ў ім***

Мэта: пазнаёміцца з амперметрам; навучыцца збіраць электрычны ланцуг і вымяраць сілу току ў ім.

Абсталяванне: амперметр лабараторны, крыніца току, лямпачка на падстаўцы, рэзістар на панельцы, рэзістар на трымальніках, ключ, злучальныя правады.

Ход работы

I. Знаёмства з амперметрам

Разгледзьце ўважліва прыбор і адкажыце на пытанні.

1) Што абазначаюць знакі «+» і «–» каля клемаў прыбора?

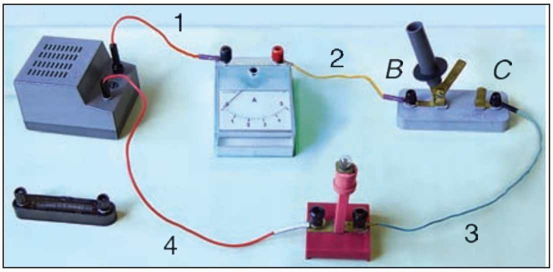
2) Якую максімальную сілу току можна ім вымяраць?

3) Якая цана дзялення яго шкалы? Які найменшы ток можна вымераць гэтым прыборам?

II. Зборка ланцуга і вымярэнне сілы току

1) Збярыце электрычны ланцуг згодна з малюнкам 300 і праверце работу ланцуга.

2) Змяніце на процілеглы напрамак току ў ланцугу (прытрымліваючыся палярнасці клемаў амперметра). Запішыце, як вы гэта зрабілі і як адбілася гэта на сіле току ў ланцугу і на свячэнні лямпы.



Мал. 300

3) Начарціце ў справаздачы схему сабранага ланцуга і пакажыце на схеме суцэльнай стрэлкай напрамак току ў ланцугу, а штрыхавой стрэлкай — напрамак руху носьбітаў току.

4) Вымерайце сілу току I_1, які праходзіць паміж клемай «+» крыніцы і ключом. Начарціце схему ланцуга пры гэтым вымярэнні.

5) Вымерайце значэнні сілы току I_3 і I_4 на ўчастках ланцуга *3* і *4*.

6) Зрабіце вывад аб значэнні сілы току ў розных участках простага ланцуга.

7) Замяніце электралямпачку пачаргова рэзістарам на панэльцы і рэзістарам на трымальніках. Вымерайце і запішыце значэнні сілы току I' і I'' у іх.

8) Які вывад можна зрабіць з праведзеных вымярэнняў?

III. Кантрольныя пытанні

1) Чаму значэніі сілы току аднолькавыя ў розных участках ланцуга?

2) Ці адаб'ецца на свячэнні лямпачкі выключэнне з ланцуга амперметра? Адказ абгрунтуйце.

3) Якая колькасць электрычнасці прайшла праз сячэнне спіралі лямпы за адну мінуту свячэння?

IV. Суперзаданне

Перанясіце провад *3* з клемы *C* ключа на клему *B*. Клему ключа, якая вызвалілася, злучыце дадатковым провадам з клемай «+» крыніцы. Уключыўшы (толькі з дазволу настаўніка!) ланцуг, растлумачце, як і чаму ўплывае становішча ключа на рэжым работы лямпы і амперметра.

Лабараторная работа 4. *Вымярэнне напружання і супраціўлення праваднікa*

Мэта: пазнаёміцца з вальтметрам і спосабам вымярэння напружання; навучыцца вымяраць супраціўленне невядомага праваднікa.

Абсталяванне: крыніца току, лабараторныя амперметр і вальтметр, лямпачка на падстаўцы, рэзістар на панэльцы, ключ, злучальныя правады.

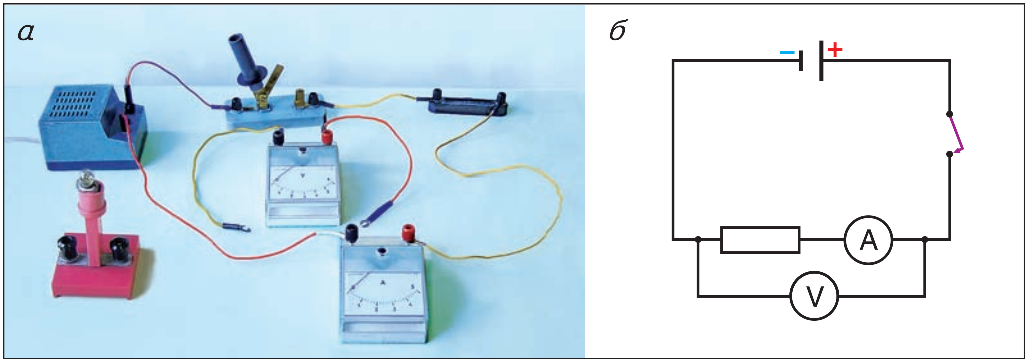
Ход работы

I. Знаёмства з вальтметрам

Разгледзеўшы вальтметр, адкажыце на пытанні.

1) Якое максімальнае напружанне можна вымяраць дадзеным вальтметрам?

2) Якая цана яго дзялення? Якое найменшае напружанне можна ім вымяраць?



Мал. 301

3) Якім павінна быць супраціўленне вальтметра ў параўнанні з супраціўленнем амперметра? Чаму яны так моцна адрозніваюцца?

II. Вымярэнне напружання

1) Збярыце ланцуг з крыніцы току, рэзістара на панэльцы, амперметра і ключа (мал. 301, *а*). Вымерайце сілу току ў рэзістары.

2) Разамкнуўшы ланцуг, дабаўце ў яго вальтметр (паралельна рэзістару). Замкніце ключ і вымерайце напружанне на рэзістары. Начарціце схему дадзенага ланцуга.

3) Адкажыце на пытанне: як адбілася дабаўленне ў ланцуг вальтметра на паказаннях амперметра? Адказ абгрунтуйце.

III. Вымярэнне супраціўлення праваднікa

1) Выкарыстоўваючы рэзультаты папярэдняга доследу, вызначце супраціўленне рэзістара на панэльцы па формуле $R = \frac{U}{I}$.

2) Знайдзіце на панэльцы пашпартнае значэнне супраціўлення рэзістара і параўнайце яго з атрыманым у доследзе. Зрабіце вывад.

3) Замяніце ў ланцузе рэзістар на панэльцы лямпачкай на падстаўцы і вызначце апісаным спосабам яе супраціўленне.

4) Знайдзіце на цокалі лямпачкі яе намінальнае напружанне $U_н$ і сілу току $I_н$ і вызначце яе супраціўленне ў намінальным рэжыме па формуле $R_н = \frac{U_н}{I_н}$.

5) Параўнайце атрыманыя ў п. 3), 4) значэнні супраціўлення і зрабіце вывад.

IV. Суперзаданне

Вымерайце супраціўленне рэзістара, прымяніўшы змененую схему (мал. 301, *б*). Параўнайце рэзультат з рэзультатам, атрыманым у п. 1). Ацаніце прымененыя метады (іх вартасць, недахопы).

Лабараторная работа 5. ***Вывучэнне паслядоўнага злучэння праваднікоў***

Мэта: навучыцца збіраць паслядоўны ланцуг і праводзіць у ім вымярэнні; доследным шляхам праверыць заканамернасці такога ланцуга.

Абсталяванне: крыніца току, два розныя рэзістары на панэльках, лабараторны амперметр і вальтметр, ключ, злучальныя правады.

Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні і вылічэнні

1) Не выкарыстоўваючы вальтметр, збярыце ланцуг, паказаны на малюнку 302, *а*.

2) Вымерайце сілу току ў ланцугу. У якім з рэзістараў праходзіць ток такой сілы? Якая сіла току, што ідзе праз крыніцу?

3) Вымерайце пачаргова напружанні U_1 на першым рэзістары, U_2 на другім і напружанне U на ўчастку з двух рэзістараў, падключаючы лабараторны вальтметр так, як паказана на схеме штрыхавымі лініямі (мал. 302, *б*).

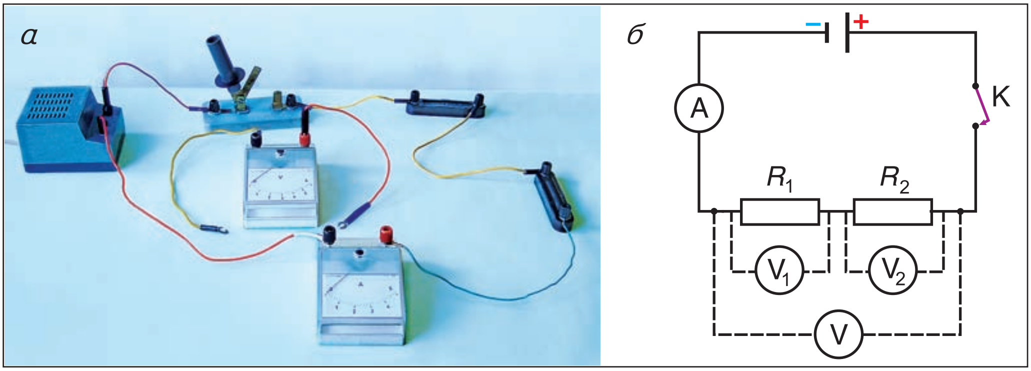
4) Выкарыстоўваючы атрыманыя рэзультаты, праверце справядлівасць другой заканамернасці паслядоўнага злучэння (гл. § 26).

5) Прымяніце закон Ома да ўчастка з двух праваднікоў. Знайдзіце супраціўленне гэтага ўчастка $R = \frac{U}{I}$.

6) Параўнайце знойдзенае супраціўленне з сумай супраціўленняў R_1 і R_2 (дадзены на панэльках) і зрабіце вывад.

II. Кантрольныя пытанні

1) Чаму паслядоўнае злучэнне спажыўцоў рэдка выкарыстоўваюць у бытавых электрычных ланцугах?



Мал. 302

2) Чаму роўна супраціўленне ўчастка ланцуга, які складаецца з N аднолькавых рэзістараў супраціўленнем R кожны, злучаных паслядоўна?

III. Суперзаданне

Разглядаючы амперметр як трэці праваднік, злучаны паслядоўна з R_1 і R_2, вымерайце напружанне на ім. Начарціце ў сшытку схему ланцуга, запішыце рэзультаты вымярэння і растлумачце іх.

Лабараторная работа 6. ***Вывучэнне паралельнага злучэння праваднікоў***

Мэта: навучыцца збіраць ланцуг з паралельным злучэннем і праводзіць у ім вымярэнні; доследным шляхам праверыць заканамернасці такога ланцуга.

Абсталяванне: крыніца току, два розныя рэзістары на панэльках, амперметр, вальтметр, ключ, злучальныя правады.

Ход работы

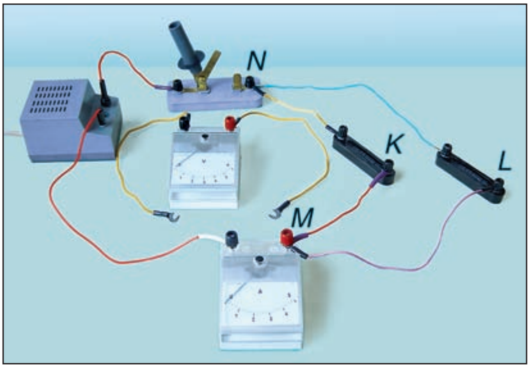
I. Зборка электрычнага ланцуга і вымярэнне яго галоўных параметраў

1) Збярыце ланцуг згодна з малюнкам 303, не ўключаючы вальтметр. Запішыце паказанні амперметра. Ці можна сцвярджаць, што ток дадзенай сілы праходзіць у кожным рэзістары?

2) Падключыце вальтметр да пунктаў M і N, начарціце поўную схему ў сшытак. Напружанне на якім з рэзістараў вымярае вальтметр?

3) Прымяняючы закон Ома да разгалінаванага ўчастка MN, знайдзіце яго супраціўленне $R_{MN} = \frac{U}{I}$.

II. Праверка заканамернасцей паралельнага злучэння



Мал. 303

1) Знайдзіце па надпісах на панэльках супраціўлення рэзістараў R_1 і R_2 і па формуле $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ разлічыце супраціўленне разгалінаванага ўчастка.

2) Параўнайце разлічанае значэнне з супраціўленнем участка R_{MN}, знойдзеным па рэзультатах вымярэнняў. Зрабіце вывад.

3) Выдаліце з ланцуга вальтметр і амперметр. Падключыце амперметр

паміж пунктамі N і K і вымерайце сілу току I_1 у рэзістары R_1, а затым, уключыўшы амперметр паміж пунктамі N і L, сілу току I_2 у рэзістары R_2.

4) Выкарыстоўваючы атрыманыя значэнні I_1 і I_2 для сілы току, а таксама значэнне сілы току I у неразгалінаванай частцы ланцуга, дакажыце справядлівасць другой заканамернасці паралельнага злучэння (гл. § 27).

III. Кантрольныя пытанні

1) Як злучаюць (паслядоўна або паралельна) спажыўцы ў кватэрнай праводцы? Чаму?

2) Чаму роўна супраціўленне ўчастка ланцуга з N аднолькавых рэзістараў супраціўленнем R кожны, злучаных паралельна?

3) Чаму паралельнае далучэнне да ўчастка ланцуга дадатковага рэзістара памяншае супраціўленне ўчастка?

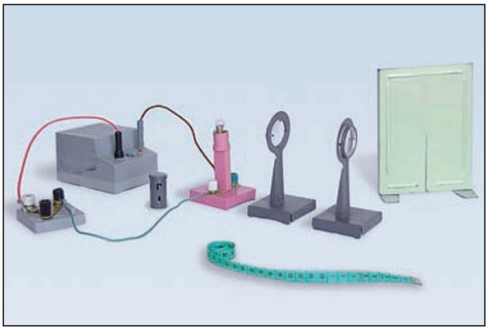
IV. Суперзаданне

Як пераносам толькі аднаго праваду з клемы на клему ператварыць дадзенае паралельнае злучэнне ў паслядоўнае? Якую ролю ў такім змененым ланцугу адыгрывае ключ?

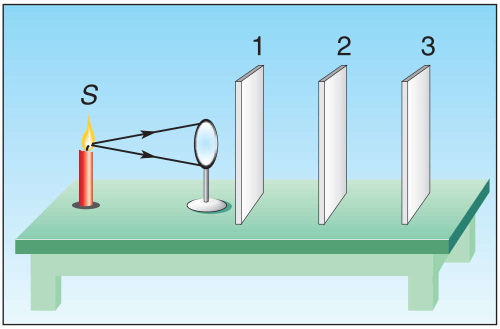
Лабараторная работа 7. ***Вымярэнне фокуснай адлегласці і аптычнай сілы лінзы***

Мэта: вывучыць праламленне святла ў розных лінзах; вымераць характарыстыкі збіральнай лінзы.

Абсталяванне: збіральная і рассейвальная лінзы на падстаўках, крыніца току, лямпачка на падстаўцы, ключ, злучальныя правады, экран, мерная стужка (мал. 304). (Работа праводзіцца ў напаўзацемненым кабінеце.)



Мал. 304



Мал. 305

Ход работы

I. Знаёмства з рознымі відамі лінзаў

1) Падключыце лямпачку да крыніцы току і ўстанавіце яе на адлегласці 20—25 см ад лінзы № 1.

2) Устанавіце ўшчыльную за лінзай экран (мал. 305, становішча *1*).

3) Павольна адсоўвайце экран ад лінзы (становішчы *2, 3* і г. д.) да адлегласці прыкладна 50 см і па дыяметры светлай плямы на экране назірайце, што адбываецца са светлавым пучком пасля праламлення ў лінзе. Якім (сыходным або разыходным) з'яўляецца пучок, які прайшоў праз лінзу?

4) Начарціце ў сшытку прыкладны ход праменяў светлавога пучка пасля лінзы. Што вы бачыце ў самым вузкім месцы пучка?

5) Паўтарыце ўсе дзеянні (п. 2—4) з лінзай № 2. Вызначце, якая з лінзаў з'яўляецца збіральнай, а якая — рассейвальнай.

II. Вымярэнне фокуснай адлегласці і аптычнай сілы лінзы

6) Атрымайце на экране відарыс якога-небудзь далёкага прадмета (лямпачкі на стале настаўніка, вулічных аб'ектаў, бачных праз няшчыльна закрытую штору акна). З-за значнай аддаленасці прадмета прамені, якія ідуць да лінзы ад кожнага яго пункта, можна лічыць паралельнымі адзін аднаму, г. зн. відарыс прадмета атрымліваецца ў факальнай плоскасці.

7) Вымерайце адлегласць ад лінзы да экрана і запішыце значэнне фокуснай адлегласці F. Які рэзультат (завышаны або заніжаны) дае нам прыменены метад? Чаму?

8) Па знойдзеным значэнні фокуснай адлегласці F вылічыце велічыню аптычнай сілы D лінзы.

III. Кантрольныя пытанні

1) Як змяняюцца напрамкі светлавых праменяў, якія прайшлі праз лінзы № 1 і № 2? Чаму?

2) Чаму адлегласць ад лінзы да відарыса далёкага прадмета можна лічыць прыкладна роўнай фокуснай?

3) Ці можна атрымаць пучок паралельных праменяў пасля праходжання праз збіральную лінзу?

4) Чаму аптычную сілу рассейвальнай лінзы лічаць адмоўнай?

IV. Суперзаданне

Вызначце, якая з лінзаў (збіральная або рассейвальная), што выкарыстоўваліся, мае большую па модулі аптычную сілу.

Шчыльнасць цвёрдых, вадкіх і газападобных рэчываў

(пры нармальным атмасферным ціску)

Рэчыва	ρ, $\frac{кг}{м^3}$	ρ, $\frac{г}{см^3}$	Рэчыва	ρ, $\frac{кг}{м^3}$	ρ, $\frac{г}{см^3}$
Рэчыва ў цвёрдым стане пры 20 °C					
Осмій	22 600	22,6	Мрамар	2700	2,7
Ірыдый	22 400	22,4	Шкло аконнае	2500	2,5
Плаціна	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золата	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свінец	11 300	11,3	Соль кухонная	2200	2,2
Серабро	10 500	10,5	Цэгла	1800	1,8
Медзь	8900	8,9	Аргшкло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, жалеза	7800	7,8	Поліэтылен	920	0,92
Волава	7300	7,3	Парафін	900	0,90
Цынк	7100	7,1	Лёд	900	0,90
Чыгун	7000	7,0	Дуб (сухі)	700	0,70
Карунд	4000	4,0	Сасна (сухая)	400	0,40
Алюміній	2700	2,7	Корак	240	0,24
Вадкасць пры 20 °C					
Ртуць	13 600	13,60	Спірт	800	0,80
Серная кіслата	1800	1,80	Нафта	800	0,80
Гліцэрына	1200	1,20	Ацэтон	790	0,79
Вада марская	1030	1,03	Эфір	710	0,71
Вада	1000	1,00	Бензін	710	0,71
Алей сланечнікавы	930	0,93	Вадкае волава (пры t = 400 °C)	6800	6,80
Масла машыннае	900	0,90	Вадкае паветра (пры t = –194 °C)	860	0,86
Газа	800	0,80			
Газ пры 20 °C					
Хлор	3,210	0,00321	Аксід вугляроду(II) (чадны газ)	1,250	0,00125
Аксід вугляроду(IV) (вуглякіслы газ)	1,980	0,00198	Прыродны газ	0,800	0,0008
Кісларод	1,430	0,00143	Вадзяная пара (пры t = 100 °C)	0,590	0,00059
Паветра	1,290	0,00129	Гелій	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Вадарод	0,090	0,00009

АДКАЗЫ ДА ПРАКТЫКАВАННЯЎ

Практыкаванне 6

4. $Q = 0{,}4$ МДж. **5.** $c = 0{,}25\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ (волава). **6.** $t = 36\ {}^\circ\text{C}$. **7.** $t = 50\ {}^\circ\text{C}$.
10. $Q_1 = 12$ кДж; $Q_2 = 24$ кДж; $c_1 = 0{,}4\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ (цынк); $c_2 = 0{,}8\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ (цэмент).

Практыкаванне 7

1. $Q = 205$ МДж. **2.** $Q_1 = 120$ МДж; $Q_2 = 120$ МДж. **3.** $q = 15\ \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (торф).
5. $q_1 = 15\ \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$; $q_2 = 30\ \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (драўняныя цуркі, драўняны вугаль).
6. $Q = 218$ МДж. **7.** $m = 0{,}6$ г.

Практыкаванне 8

2. $\frac{Q_\text{м}}{Q_\text{ж}} = \frac{7}{9}$. **5.** $\Delta E = 174$ кДж. **7.** $t = 84\ {}^\circ\text{C}$. **8.** $\lambda_1 = 210\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (медзь); $\lambda_2 = 67\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (золата); $Q_2 = 134$ кДж. **9.** $Q = 1{,}1$ МДж. **10.** $m = 0{,}27$ т. **12**. $l = 1$ мм.

Практыкаванне 10

9. $Q_1 = 4{,}5$ МДж; $Q_2 = 5{,}2$ МДж. **10.** $m = 10$ кг. **11.** $L = 352\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (эфір).
12. $m_\text{л} = 0{,}16$ кг.

Практыкаванне 13

5. $A = 8$ нДж. **6.** $U = 15$ В. **7.** $P = 0{,}59$ кВт. **8.** $U = 0{,}18$ мВ.

Практыкаванне 14

3. $I = 2{,}0$ мА. **4.** $\langle I \rangle = 1{,}2 \cdot 10^2$ А. **5.** $q = 0{,}54$ МКл; $N = 3{,}4 \cdot 10^{24}$. **6.** $I = 0{,}16$ А. **7.** $I = 1{,}6$ мкА. **8.** $q = 1{,}5$ Кл.

Практыкаванне 15

4. $I = 0{,}20$ А.

Практыкаванне 16

1. $\rho_1 = \rho_0$; $R_1 = 0{,}5R_0$; $R_3 = 4{,}0$ Ом. **3.** $I = 2$ мА. **4.** $R = 13$ Ом. **5.** $U = 1{,}0$ мВ. **6.** $U = 1{,}2$ В. **7.** $R = 10$ Ом. **8.** $\rho = 0{,}50\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ (канстантан). **9.** $U = 84$ мВ. **11.** $R = 2{,}2$ Ом. **12.** $R = 32$ Ом.

Практыкаванне 17

1. $R = 1{,}1$ кОм. **2.** $R = 24$ Ом; $I = I_1 = I_2 = 0{,}50$ А; $U_1 = 4{,}0$ В; $U_2 = 8{,}0$ В. **3.** $N = 19$. **5.** $I = 1{,}0$ А; $U_1 = 8{,}0$ В; $U_2 = 4{,}0$ В. **6.** $R_2 = 12$ Ом. **7.** $R = 1$ Ом. **8.** $I_1 = 0{,}25$ А; $I_2 = 0{,}38$ А; $I_3 = 0{,}30$ А.

Практыкаванне 18

2. $R = 120$ Ом. **3.** $R_\text{пс} = 124$ Ом; $R_\text{пр} = 12{,}0$ Ом. **4.** $R_\text{пс} = 0{,}32$ кОм. **5.** $R_2 = 80$ Ом. **6.** $R = 16$ Ом; $U_1 = U_2 = 12$ В; $I_1 = 0{,}60$ А; $I_2 = 0{,}15$ А. **7.** $I_A = I_D = 5$ мА; $I_B = 3$ мА; $I_C = 2$ мА. **8.** $R_2 = 40$ Ом. **9.** $R_a = 45$ Ом; $R_б = 20$ Ом.

Практыкаванне 19

2. $A = 0{,}24$ кДж; $P = 60$ Вт. **3.** $A = 0{,}65$ Дж. **4.** $I_1 = 0{,}11$ А; $R_1 = 1{,}9$ кОм; $I_2 > I_1$; $R_2 < R_1$. **5.** $A = 290$ кДж; $P = 1{,}21$ кВт. **6.** $P = 1{,}1$ кВт; $I_1 = 5{,}0$ А; $R_2 = 11$ Ом. **7.** $t = 1$ гадзіна. **8.** $t = 22$ с.

Практыкаванне 20

2. $Q_2 = 3Q_1$. **3.** $Q_1 = 3Q_2$. **6.** $V_{\max} = 9{,}5$ л.

Практыкаванне 23

3. $n = 1{,}3$. **4.** $t = 8{,}3$ мін. **5.** $l = 4 \cdot 10^{13}$ км; $l_0 = 3{,}1 \cdot 10^{16}$ м. **7.** $h_0 = 1{,}3h$. **10.** $H = 5{,}3$ м.

Практыкаванне 24

6. $\varphi_1 = 64°$ (да гарызонту). **7.** $\Delta\varphi = 20°$.

Практыкаванне 25

6. $h_{\min} = \frac{L}{2}$.

Практыкаванне 27

4. $D_1 = +0{,}5$ дптр; $D_2 = -5$ дптр. **5.** $F_1 = 0{,}2$ м; $F_2 = -2{,}5$ м. **8.** $D = 0$.

Практыкаванне 28

6. $D = 5$ дптр. **7.** $n = 3$; $D = 6{,}7$ дптр.

ЗМЕСТ

Раздзел 3. Светлавыя з'явы

Раздзел 4. Лабараторны эксперымент

____

(Назва і нумар школы)

Навучальны год	Імя і прозвішча вучня	Стан падручніка пры атрыманні	Адзнака вучню за карыстанне падручнікам
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

Вучэбнае выданне

Ісачанкава Ларыса Арцёмаўна
Ляшчынскі Юрый Дзмітрыевіч

ФІЗІКА

Падручнік для 8 класа
агульнаадукацыйных устаноў
з беларускай мовай навучання

Заг. рэдакцыі *В. Г. Бехціна*. Рэдактар *Л. В. Грынкевіч*. Афармленне *А. Г. Дашкевіч*. Мастацкі рэдактар *В. І. Казлоў*. Тэхнічны рэдактар *А. Ю. Гурчонак*. Камп'ютэрная вёрстка *Т. В. Свірыдзенка*. Карэктары *З. М. Грышэлі, Д. Р. Лосік, Т. М. Вядзернікава, В.С. Бабеня, Г. В. Алешка*.

Падпісана ў друк 14.05.2010. Фармат $70 \times 90\ ^1/_{16}$. Папера афсетная. Гарнітура літаратурная. Афсетны друк. Умоўн. друк. арк. 13,46 + 0,29. Ул.-выд. арк. 11,61 + 0,29. Тыраж 23 720 экз. Заказ .

Выдавецкае рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Народная асвета»
Міністэрства інфармацыі Рэспублікі Беларусь.
ЛИ № 02330/0494083 ад 03.02.2009. Пр. Пераможцаў, 11, 220004, Мінск.

ААТ«Паліграфкамбінат імя Я. Коласа».
ЛП № 02330/0150496 ад 11.03.2009. Вул. Чырвоная, 23, 220600, Мінск.